

Versuche zum Richtungshören bei gleichzeitiger optischer Reizung - Audiovisueller Konflikt

von

PETER WIEDEMANN

aus Erlangen

1979
-

1980 № 63

Aus dem Institut für PHYSIOLOGIE und BIOKYBERNETIK der
Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. W.D. KEIDEL

VERSUCHE ZUM RICHTUNGSHÖREN BEI GLEICHZEITIGER OPTISCHER REIZUNG
- AUDIOVISUELLER KONFLIKT

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
PETER WIEDEMANN
aus Erlangen

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. W. Kersten
Referent: Prof. Dr. E. David
Korreferent: Prof. Dr. W.-D. Keidel
Tag der mündlichen Prüfung: 10.12.1979

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1 E I N L E I T U N G	2
1.1 RICHTUNGSHÖRTHEORIEN	2
1.1.1 Laufzeittheorie	2
1.1.2 Intensitätsdifferenztheorie	3
1.1.3 Zusammenwirken von Zeit- und Intensitätsdifferenztheorie	4
1.1.4 Andere binaurale Hörtheorien	4
1.2 RICHTUNGSHÖRSCHWELLEN	6
 2 V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G	 7
2.1 VERSUCHSPERSONEN	7
2.2 VERSUCHSAUFBAU	7
2.3 BESCHREIBUNG DER AUFGABEN DER VERSUCHSPERSONEN	13
2.4 BEMERKUNGEN ZUM VERSUCHSAUFBAU	16
2.4.1 Laufzeitkette und Kopfhörer oder freies Schallfeld und beweglicher Lautsprecher?	16
2.4.2 Einfluß von Kopfbewegungen auf das Richtungshören	18
2.4.3 Einfluß von Augen- und Lidbewegungen	19
2.4.4 Einfluß der Prismenbrille auf das Richtungshören	20
 3 E R G E B N I S S E	 21
3.1 VERSUCH A-E MIT 24 VERSCHIEDENEN PERSONEN	21
3.1.1 Vergleich verschiedener Laufrichtungen	25
3.1.2 Vergleich verschiedener Versuchsanordnungen	26
3.1.3 Vergleich der Varianzen der einzelnen Versuchsanordnungen	27
3.2 VERSUCH A-E MIT 1 VERSUCHSPERSON AN 4 VERSCHIEDENEN TAGEN	29
3.3 EINFLUSS VERSCHIEDENER BEWEGUNGSGESCHWINDIGKEITEN UND ÜBUNGSEFFEKTE	32
3.4 VERSUCH MIT SEITLICHEM STARTPUNKT DES LAUTSPRECHERS	35
3.5 VERSUCH MIT STATIONÄREM LAUTSPRECHER	38
 4 D I S K U S S I O N	 39
 5 Z U S A M M E N F A S S U N G	 46
 6 L I T E R A T U R	 47

1.0 EINLEITUNG

Der räumlichen Orientierung des Menschen dienen vor allem Auge und Ohr, wobei ersteres dominiert (14, 16, 23, 36). KEIDEL 1966 bezeichnet das Auge als Raumsinnesorgan, das Ohr als Zeitsinnesorgan.

Der Spezialfall der rein akustischen Lokalisation ist zwar möglich, aber selten, denn zumindest Erfahrung und Überlegung spielen mit (21). Um die Richtung einer sichtbaren Schallquelle, zum Beispiel eines Fernsprechers (4, 17) zu bestimmen, werden visuelle und auditive Reize herangezogen. Dies bewiesen Experimente, die beide Reize in Widerspruch brachten; zumeist wurden die visuellen Reize durch Prismen (z.B. STRATTON 1887, zitiert nach YOUNG 1928; 6, 23, 24) oder die akustischen durch ein Pseudophon (45, 47) versetzt. Diese Versuche zeigten ein Überwiegen des Gesichtssinnes - wie man es auch selbst erleben kann bei Bauchrednern oder in Versammlungsräumen, in denen die Lautsprecher derart aufgestellt sind, daß der Zuhörer die Lautquelle nicht exakt lokalisieren kann und deshalb, wie gewünscht, die Stimme vom Redner her zu hören glaubt (Beispiele auch bei JACKSON 1953; eine Illustration des letzten Beispiels gibt RUBINSTEIN in KRAVKOV 1966).

Zum leichteren Verständnis folgt ein kurzer Überblick über die heute gültigen binauralen Richtungshörtheorien für den Rechts - links - Eindruck.

1.1

R I C H T U N G S H Ö R T H E O R I E N

1.1.1 LAUFZEITTHEORIE (v. Hornbostel und Wertheimer 1920)

Für tiefe Frequenzen bis 800 Hertz erklärt die Laufzeittheorie am besten die Richtungshörfähigkeit. Infolge des mittleren Ohrabstandes von 21 cm trifft bei voller Seitlichkeit ein Schall das abgewandte Ohr 630 Mikrosekunden, das sind $21/33000$ Sekunden, später als das zugewandte (29 Mikrosekunden / cm).

Ist der Wegunterschied zwischen beiden Ohren größer als die halbe Wellenlänge eines Tones, so kann das Ohr nicht mehr zwischen den Druckbergen unterscheiden, da die Erholungszeit des Hörnerven (ca. 1/1000 Sekunde) zu lang ist (16, 19, 27); es ergeben sich Richtungstäuschungen. Dies trifft bei 786 Hz zu, denn die Wellenlänge dieses Tones ist gleich dem doppelten Ohrabstand; 786 Hz sind deshalb die Grenzfrequenz für die Richtungsbestimmung von Reintönen, oberhalb derer die Sicherheit der Lokalisation rasch abnimmt, wenn Laufzeitunterschiede allein wirksam sind (16, 19, 27, 37). Über 1600 Hz ist durch alleinige Zeitverzögerung kein Seiteneindruck erreichbar. Der kleinste merkbare Zeitunterschied liegt etwa bei zehn Mikrosekunden (5).

Der Eindruck zweier getrennter aufeinanderfolgender Schalle entsteht erst ab zwei Millisekunden, bis fünfzig Millisekunden wird dabei die Entstehung eines zweiten Richtungseindrucks verhindert, eine Beobachtung, die als HAAS- Effekt bezeichnet wird (11, 16, 20, 27).

1.1.2 INTENSITÄTSDIFFERENZTHEORIE (Hartley und Fry 1921)

Da der Kopf ein Hindernis im Schallfeld darstellt, an dem die Schallwellen richtungsabhängig gebeugt werden (7), ist über die entstehende Schalldruckdifferenz, die über die Erregungslatenz des Hörnerven in eine Zeitdifferenz umgewandelt wird, eine Richtungsbestimmung möglich (16, 19, 26, 27, 37, 42).

Die Schalldruckdifferenz steigt bei festgehaltener Richtung der Schallquelle mit Zunahme der Frequenz erheblich (16); deshalb erklärt die Intensitätsdifferenztheorie erst für Töne ab etwa 500 Hz das Richtungshörvermögen, bei tieferen Tönen gelangen die Wellen fast ungeschwächt ans abgewandte Ohr, so daß bei tiefer Frequenz - unabhängig von der Schallquellenrichtung - ein Mitteneindruck entsteht. Ein Intensitätsunterschied von etwa 0.6 Dezibel bewirkt eine gerade hörbare Richtungsänderung für Frequenzen oberhalb 1300 Hz (29).

Wenn experimentell der Richtungseindruck nur mit Intensitäts - differenz erzeugt wird, entspricht eine Lautstärkedifferenz von 15 - 20 Dezibel, bei Tönen jeder Frequenz und bei Geräuschen, dem Eindruck seitlich; winkeltreu ist dieser Eindruck jedoch nur für Reintonfrequenzen um 5000 Hz (19); auch Versuche am Kunstkopf zeigen, daß die Intensitätsunterschiede in Abhängigkeit von Winkel und Frequenz sehr unregelmäßig sind (30).

1.1.3. ZUSAMMENWIRKEN VON ZEIT- UND INTENSITÄTSDIFFERENZTHEORIE

Selbstverständlich unterscheidet das Gehör nicht zwischen Laufzeit- und Intensitätsdifferenztheorie. Durch Änderung von Zeitverzögerung und Intensität läßt sich ein Schallereignis mit zwei Lautsprechern fusionieren, verbreitern oder an einen virtuellen Ort verlegen (9).

Experimentell kann man Tradingfunktionen ermitteln, bei denen eine Zeitverspätung durch Intensitätsvergrößerung am selben Ohr zum subjektiven Mitteneindruck ausgeglichen wird. Dabei ist das Zeitäquivalent zum Ausgleich eines bestimmten Intensitätsunterschiedes nicht konstant (8, 16, 28).

Zeit- und Intensitätsdifferenz zusammen bewirken den Seiteneindruck, die Zeitdifferenz ist winkeltreu, die Lautstärkedifferenz eher seitentreu. Zwischen 800-5000 Hz ist der Richtungseindruck eines Hörereignisses zur Mitte verschoben, ab 5000 Hz zur Seite (bei reinen Tönen) (19). Im täglichen Leben sind Schalldruckpegeldifferenzen von größerer Bedeutung als Zeitdifferenzen, da die meisten natürlichen Hörereignisse hochfrequente Anteile haben (5).

1.1.4. ANDERE BINAURALE HÖRTHEORIEN

- wie die DREHTHEORIE: eine Bewegung des Kopfes relativ zur Schallquelle ermöglicht oder verbessert die Lokalisation (12, 19, 21, 42).
- die KLANGTHEORIE : die Richtwirkung der Ohrmuscheln und die sich durch Abschattung ergebenden charakteristischen Frequenzveränderungen

(hohe Frequenzen am der Schallquelle zugewandten Ohr) lassen die Richtung der Schallquelle erkennen (21). Durch Kunstkopfversuche wurde gezeigt, daß das Frequenzmuster am empfangenden Ohr vor allem bei hohen Frequenzen stark vom Einfallswinkel abhängt (31). Diese hochfrequenten Anteile des Spektrums werden bei Schalleinfall von hinten besonders gedämpft (3). Das Frequenzmuster eines Schalles beeinflußt Klang-, Richtungs- und Entfernungsempfinden,

und die PHASENTHEORIE: diese ist in die Zeittheorie überführbar (19, 42).

werden herangezogen, da weder Intensitätsdifferenztheorie noch Zeitdifferenztheorie eine eindeutige Erklärung des Richtungs- hörens liefern (5, 16, 21, 29).

Dreh- und Klangtheorie sollen den durch die Zeit- und Pegeldifferenztheorie verständlich gemachten Seitlichkeitseindruck durch Zugabe des "vorn - hinten" zum echten Richtungseindruck machen. "Oben - unten" wird auch monaural infolge der Beeinflußung des Frequenzspektrums des Schalles durch Ohrmuschel und Kopf unterschieden (7, 19).

Die Raumschwelle des Ohres ist in der Horizontalebene vorn mit 1-4 Grad (5, 12, 16, 28, 35) - unter Zuhilfenahme des Auges sogar 50 Bogensekunden (16) - besser als seitlich, wo Werte von 3.3-7.1 Grad (MILLS 1958 zitiert nach PREIBISCH - EFFENBERGER 1966) oder 12-18 Grad (nach KEIDEL 1966) angegeben werden.

Die Richtungseinschätzung erfolgt am Anfang oder Ende eines Tones, nicht während seiner Dauer (49). So ist verständlich, daß komplexe Schalle mit steilen Druckflanken ("transients"), also Sprache, am besten lokalisiert werden (16). Diejenige Ortsänderung der Schallquelle, bei der genau 50 Prozent der Versuchspersonen eine Änderung des Hörereignisortes bemerken, beträgt für Sprache 1.5 Grad (5).

Die Güte der Richtungsbestimmung durch eine Versuchsperson wird beeinflußt (cf. TONNING 1975):

- vom Platz der Schallquelle (10; cf. MILLS 1958 in HOWARD und TEMPLETON 1966),
- von der Frequenz des Schalles und der Schallqualität (cf.38),
- von der Ausschaltung störender Nebenschallquellen,
- davon, ob der Schall bekannt ist oder erwartet wird,
- vom Zustand der Sensorik, vom Allgemeinzustand und vom Alter der Versuchsperson (ab sechzig Jahren Verschlechterung der Richtungshörfähigkeit auch ohne Hörschwellenverlust (PREIBISCH-EFFENBERGER, RÜSER 1965 in BLAUERT 1974),
- davon, ob die Versuchsperson im Richtungshören geübt ist; außerdem nach HOWARD und TEMPLETON:
- von Augenbewegungen und Bewegungen der Sehwelt,
- von zufälligen "autokinetischen" Schwankungen der Hörwelt,
- von "Nacheffekten" nach vorheriger Reizung des Hörorgans,
- von speziellen Versuchsanordnungen, wie Vestibularisreizung oder künstlicher Verlegung der Hörachse.

Die genannten Schwellenwerte wurden meist mit Versuchen, die die Zeit- oder Intensitätsdifferenz zur Grundlage hatten, ermittelt; der Informationsfluß anderer Sinnesorgane, die zur Raumorientierung beitragen, vor allem der des Auges, wurde sorgsam ausgeschaltet. Das Ziel unserer Arbeit war, zu klären, ob und wenn ja in welchem Umfang die rein akustische Lokalisation eines Schallereignisortes durch die gleichzeitige Sichtbarkeit der (scheinbaren) Schallquelle beeinflußt wird.

2.0 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

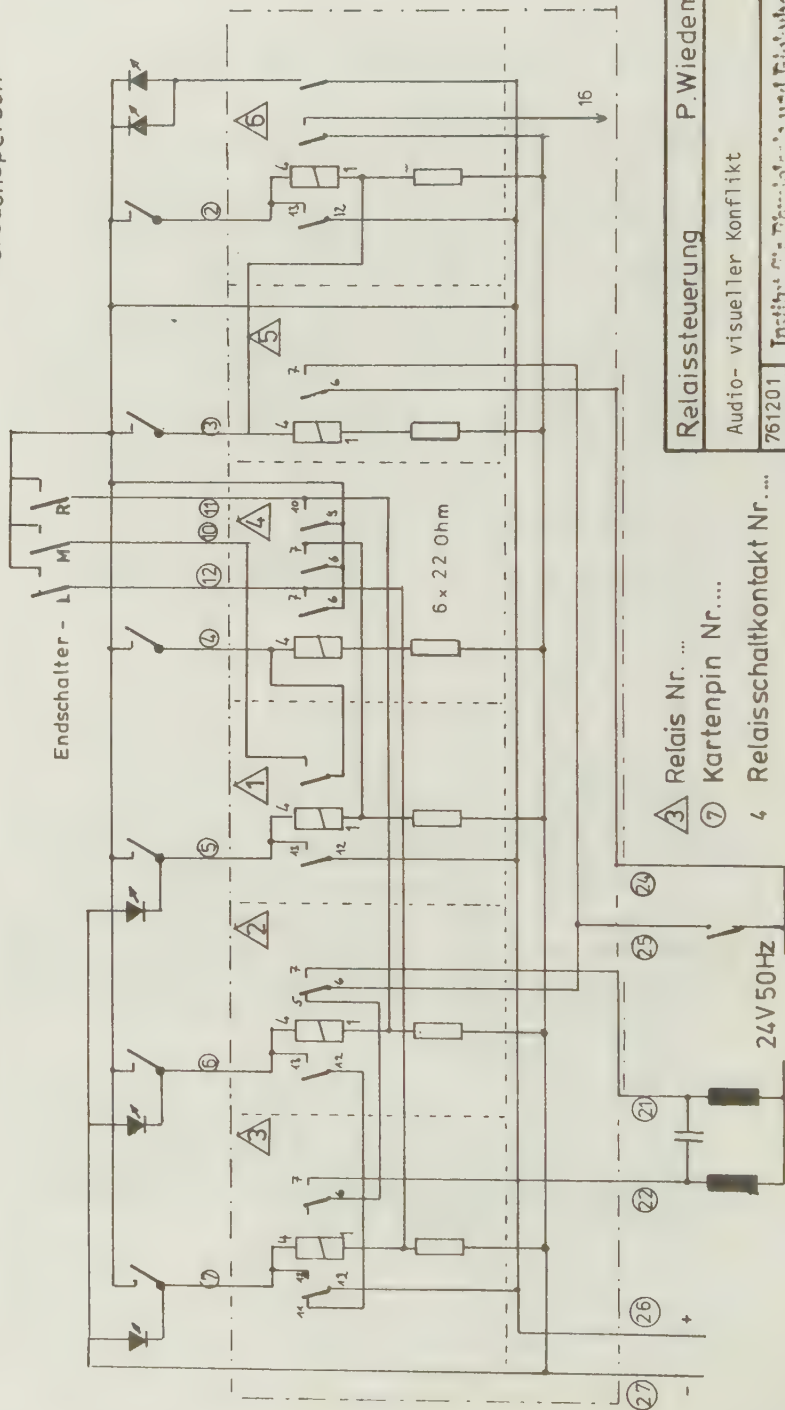
2.1 VERSUCHSPERSONEN

Versuchspersonen waren 22 Studenten, darunter eine Studentin, und drei Schüler. Sie nahmen freiwillig am Versuch teil, wurden nicht bezahlt und waren im Richtungshören ungeübt. Wir untersuchten die Versuchspersonen nicht audiologisch; sie waren anamnestisch aber gesund und einige konnten ein normales Audiogramm vorweisen. Ansonsten verzichteten wir auf ein Audiogramm, da daraus keine sicheren Schlüsse auf das Richtungshörvermögen gezogen werden können (42). Allerdings ist eine Verschlechterung des Richtungshörens wahrscheinlich, besonders bei einseitigen Hörverlusten (VIEHWEG und CAMPELL zitiert nach TONNING 1975). Eine unserer Versuchspersonen, die einen einseitigen Hörverlust von 80 Dezibel angab, wurde bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt.

2.2 VERSUCHSAUFBAU

Wir führten die Versuche in einer Camera silenta durch. Die Schallquelle, ein Lautsprecher der Marke Isophon (Übertragungsbereich 150-20000 Hz), war auf einem Wagen befestigt. Auf einer in einem Radius von 180 cm gebogenen Rundstange wurde dieser - auf sechs Kugellagern lautlos gleitend - mittels eines Seilzuges von einem Motor bewegt (Abb. 1). Der Wagen fuhr mit einer Geschwindigkeit von etwa 12 Grad/ Minute; die Geschwindigkeit war mit einem Schwebungssummer, an dem die dem Motor zugeführte Frequenz eingestellt wurde, veränderbar.

Mit einer Relaissteuerung (siehe Schaltplan) ließ sich der Wagen von jeder Stelle auf der Umlaufstange nach links oder rechts bewegen, wobei ihn Versuchsperson oder Versuchsleiter (unbemerkt von der Versuchsperson) überall stoppen konnten. Der Versuchsleiter konnte den Wagen exakt in der Mitte anhalten.



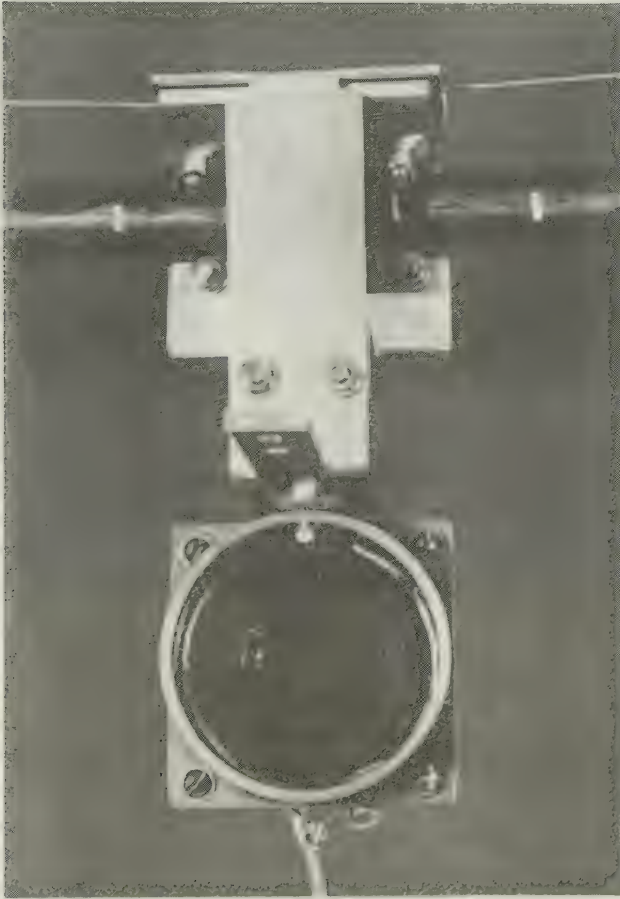


Abb. 1: Lautsprecher mit Führungsstange und Seilzug

Der jeweilige Standort des Wagens wurde außerhalb der Kammer mit einem Voltmeter (Wisometer; Anzeigetoleranz 2.5 Prozent) angezeigt; die Werte wurden in Winkelgrad umgerechnet (Abb. 2).

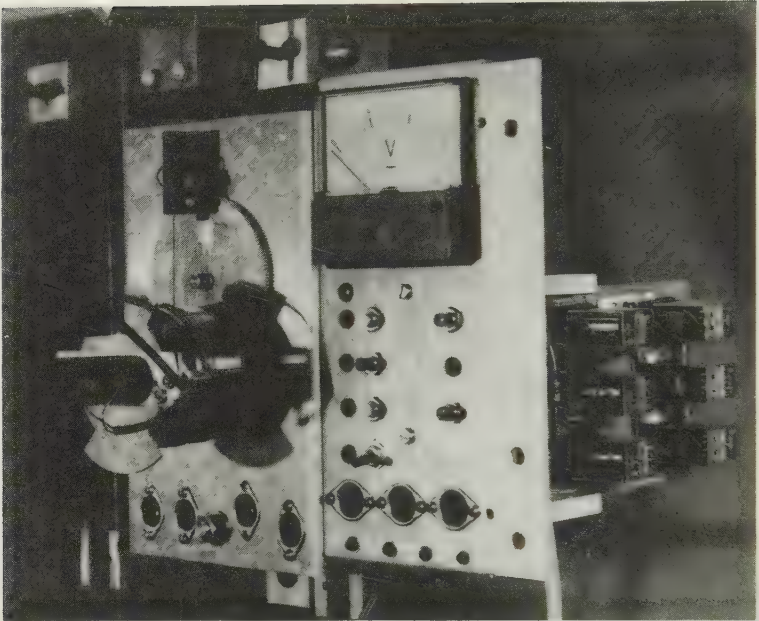


Abb. 2: Antriebs- und Steuerelement.

Auf der linken Seite sind die vom Motor getriebene Seilwickelrolle, der Schalter zum exakten Stopp in der Mitte und das Potentiometer zu sehen. Die Anzeige- und Steuervorrichtung (rechte Seite) befand sich außerhalb der Camera silenta.

Der Lautsprecherwagen war, wenn er in der Mitte des Bogens stoppte, genau über der Bildschirmenebene eines Fernsehgerätes.⁺⁾

⁺⁾ Der mechanische Teil der Anlage wurde von Herrn R. BACHMANN und Herrn A. GABRIEL in der mechanischen Werkstatt, der elektrische von Herrn G. WITZEL und Herrn K. SCHÜTTE in der Elektronikwerkstatt des Instituts angefertigt.

Die Versuchsperson saß auf einem in der Höhe verstellbaren Stuhl. Die Ohren der Versuchsperson waren in 180 cm Entfernung vom Führungsbogen, in 181.5 cm Entfernung von der Lautsprecher-membran. Bei einem als konstant angenommenen Abstand Auge - Ohr von 8 cm betrug die Entfernung Auge - Bildschirm 173.5 cm. Diese Entfernungen wurden während der Versuche mit ausreichender Genauigkeit eingehalten.

Der Kopf der Versuchsperson ruhte auf einer Kinnstütze, die so eingestellt war, daß sich der Kopf des Sprechers (im Fernseh-bild) und der Kopf der Versuchsperson auf gleicher Höhe be-fanden, wenn die Versuchsperson eine 20 Dioptrien starke Prismen-brille trug, die das Bild um knapp 35 cm (oder 11 Grad) anhob. Ohne diesen Höhenausgleich fiel den Versuchspersonen die Ver-schmelzung von Bild und Ton in der Medianebene schwerer oder war unmöglich. Der Winkel, um den in der Medianebene eine Schall-quelle verschoben werden muß, damit es zu einer Änderung des Hörereignisses kommt, beträgt für laufende Sprache eines unbe-kannten Sprechers etwa 17 Grad (BLAUERT), bei bekanntem 9 Grad (DAMASKE und WAGENER 1969, zitiert nach BLAUERT 1974).

Ein Sprecher las den "Freiburger Sprachverständnistest" mit einer Geschwindigkeit von circa 14 Wörtern in 15 Sekunden vor (Abb. 3).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ring	Holz	Blatt	Schnee	Punkt	Seil	Spiel	Luft	Schmerz	Horn
Spott	Ruß	Stift	Wurst	Ziel	Pfand	Moos	Band	Thron	Pfeil
Farm	Mark	Hohn	Zahn	Fest	Net	Lachs	Kost	Eis	Kamm
Hang	Stein	Zweck	Pest	Darm	Flur	Glut	Schl	Funk	Turm
Geist	Glied	Aal	Griff	Schein	Schild	Erz	Feind	Baß	Spieß
Zahl	Fleck	Furcht	Laub	Torf	Ochs	Baum	Herr	Rind	Laus
Hund	Busch	Leim	Mund	Lamm	Draht	Sand	Pflug	Lehm	Recht
Bach	Schloß	Dorf	Grab	Wehr	Hemd	Reich	Tal	Grog	Zopf
Floh	Bart	Tat	Hef	Glas	Schmutz	Kuh	Gift	Blei	Schall
Lärm	El	Kerl	Kopf	Huf	Rat	Schliff	Raum	Markt	Mais
Durst	Werk	Schuh	Reiz	Spind	Tau	Wort	Ernst	Schliff	Fell
Teig	Dach	Wind	Frist	Pfau	Milch	Hecht	Zeug	Hut	Gramm
Prinz	Knie	Maus	Drang	Block	Rost	Mann	Fach	Zank	Ohr
Aas	Traum	Reif	Fuß	Arm	Kahn	Bruch	Groll	Korb	Sieb
Schreck	Paß	Bank	Ol	Neld	Tier	Schopf	Speck	Lauf	Pracht
Nuß	Kunst	Klee	Schleim	Stroh	Brot	Fels	Sitz	Dank	Lump
Wolf	Mönch	Stock	Takt	Wurf	Dunst	Kranz	Moor	Sarg	Glips
Braut	Los	Wuchs	Kinn	Rest	Haar	Teich	Last	Kies	Bad
Kern	Schrift	Mist	Stoß	Blick	Feld	Dienst	Krach	Schnur	Sprung
Stich	Fall	Gras	Ball	Schlag	Schwein	Star	Schwung	Pech	Dreck

Abb. 3: Freiburger Sprachverständnistest.

Er wurde im Maßstab 1:1 auf ein Videogerät (Firma GRUNDIG) so aufgenommen, daß wir das scheinbare Gegenüber von Sprecher und Versuchsperson (mit Prismenbrille) erreichten. Die Umlaufbahn des Lautsprechers befand sich in Ohrhöhe der Versuchsperson.

Die Lautstärke stellten wir subjektiv so ein, daß sie alle Versuchspersonen als angenehm empfanden. Eine zu große Lautstärke störte die Höhenverschmelzung von Bild und Ton; bei der von uns gewählten Lautstärke hatten alle Versuchspersonen (mit Prismenbrille) in Mittelstellung des Lautsprecherwagens den Eindruck, daß der Ton aus dem Mund des Fernsehsprechers komme.

Der Versuchsperson war die ganze Apparatur mit Ausnahme des Bildschirms durch einen Tuchvorhang verdeckt. Es gab nichts in der Kammer, woran die Versuchsperson sich über die "Fehl-information" der Prismenbrille hätte orientieren können. Die einzige Lichtquelle war das Fernsehbild.

Der Versuch einer Bündelung des Tons durch eine 40 cm lange Pappröhre, mit der wir die Richtwirkung der Schallquelle zu verbessern hofften, erwies sich als ungünstig. Der Klang wurde verfälscht, außerdem fiel die Richtungsbestimmung rechts leichter als links. Wir führten dies auf die aus Platzgründen schräge Aufstellung des Umlaufbogens in der Kammer zurück; die Tür der Camera silenta ist im Gegensatz zu den übrigen Wänden mit feinem Draht bespannt, so daß sich ein unterschiedliches Reflexionsverhalten ergibt, das durch die große Abstrahlfläche der Röhre eventuell noch betont wurde.

Der Versuch wurde in drei mal zwei Anordnungen (Fall AB, CD, EF; siehe unten) durchgeführt. Die Versuchspersonen mußten mit einem Schalter den Lautsprecherwagen stoppen, sobald sie einen Seitlichkeitseindruck (wenn in der Mitte gestartet wurde) bzw. einen Mitteneindruck (wenn von der Seite gestartet wurde) hatten.

Die Versuchsperson wurde angewiesen:

- den Kopf ruhig und die Augen geöffnet zu halten,
- sich auf das Bild zu konzentrieren (bei Fall C, D, E, F),
- den Wagen zu stoppen, sobald sie den neuen Standort sicher erkennen konnte und über den Stoppschalter mitzuteilen,
- ob der Lautsprecher Mitte - links, links - Mitte, Mitte - rechts oder rechts - Mitte gezogen worden war.

Jede Versuchsperson nahm an zwölf Fahrten pro Versuchsanordnung teil, insgesamt also an 72.

Bild und Ton waren nicht bei jeder Fahrt gleich, es wurde vielmehr ein "Freiburger Test" durchgespielt und erst dann das Videoband zurückgespult. Die Prismenbrille trugen die Versuchspersonen bei allen Versuchen, bei Brillenträgern klebten wir die Linsen auf die Korrekturgläser.

2.3 BESCHREIBUNG DER AUFGABEN DER VERSUCHSPERSONEN

Die Aufgaben der Versuchspersonen lauteten:

VERSUCHSANORDNUNG A ("ohne Bild", von der Mitte zur Seite)

Die Versuchsperson sitzt auf ihrem Stuhl, richtet sich mit den Augen nach einem am Fernseher genau in der Mitte befindlichen Punkt aus und behält diese Stellung bei; der Kopf ist durch den Kinnhalter unterstützt. Der Raum wird abgedunkelt. Der Versuchsleiter schaltet den Versuchstext ("Freiburger Test") und gleichzeitig einen Summton ein, der die Versuchsperson zusätzlich über die akustische Mitte informiert. Die Versuchsperson weiß, daß der Versuchstext abstrahlende Lautsprecher sich zur Seite (nach links oder rechts) verschieben kann, sobald der Summton aufhört. Ende des Summtones bedeutet Beginn des eigentlichen Versuchs. Die Versuchsperson drückt einen am Stuhl befindlichen Schalter, wenn sie sicher links oder rechts entscheiden kann. Der wagenziehende Motor stoppt, ebenso der Ton. Der Standort des Wagens kann außen am Voltmeter abgelesen werden und wird in Skalenteilen vom Versuchsleiter dokumentiert.

Die von der Versuchsperson vermutete Fahrtrichtung wird durch Betätigung des entsprechenden Stoppschalters (je einer für rechts und einer für links, siehe Abb. 4) angezeigt.

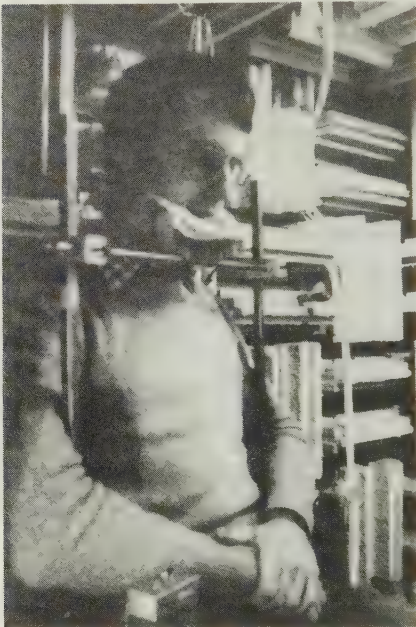


Abb. 4: Kinnstütze
und Stoppschalter

Der Versuchsleiter bewegt den Lautsprecherwagen zum Mittelpunkt zurück.

Der Versuch wird mit jeder Versuchsperson je sechsmal von der Mitte nach links und sechsmal nach rechts (insgesamt also zwölfmal) in zufälliger Reihenfolge durchgeführt.

VERSUCHSANORDNUNG B ("ohne Bild", von der Seite zur Mitte)

Versuchsdurchführung wie unter A, aber der Wagen startet jetzt 15 Grad seitlich. (Diese Position erkannten alle Versuchspersonen unter allen Versuchsbedingungen als seitlich! Ein Startpunkt noch weiter seitlich hatte keinen Einfluß auf den Stoppwinkel.)

Auch hier läuft der Wagen erst an, wenn der Summton abgeschaltet ist, während der Versuchstext schon vor Start des Wagens vorgespielt wird. Die Versuchsperson stoppt den Wagen, sobald sie meint, er befinde sich in der Mitte; diese kennt sie durch die Ausrichtung des Kopfes und den Summton. Der Wagen läuft je dreimal von links zur Mitte, dann von rechts zur Mitte, wieder links zur Mitte und rechts zur Mitte (oder auch umgekehrt). Durch die Koppelung von drei Fahrten in gleicher Richtung ist die Wartezeit für die Bewegung des Wagens zur jeweiligen Startposition kürzer. Vor das Problem zu entscheiden, in welche Richtung der Wagen fährt, ist die Versuchsperson unter dieser Versuchsbedingung sowieso nicht gestellt.

VERSUCHSANORDNUNG C UND D (mit "Fadenkreuz"-Bild, von der Mitte zur Seite bzw. von der Seite zur Mitte)

Der Versuch wird mit Bild durchgeführt. Die Versuchsperson soll den Kopf des Sprechers als "optische Mittenangabe" betrachten, als "Fadenkreuz". Um dies zu erleichtern wird auf die Mitte des Mundes des Fernsehsprechers ein Stück weißer Klebstreifen geklebt; dieses soll vor allem der ständigen Erinnerung an die Versuchsaufgabe dienen. Zumindest bei einer Person zeigte sich zwischen Versuch mit Klebstreifen und Versuch mit Vorstellung "Fadenkreuz" allein kein Unterschied. Auch hier werden Bild und Ton vor eigentlichem Versuchsbeginn, der durch das Ende des Summtones gegeben ist, eingespielt. Während des Versuchs soll sich die Versuchsperson auf den Mund des Sprechers konzentrieren.

Fall C: 12 Versuche von der Mitte zur Seite, zufällig nach links oder rechts.

Fall D: 12 Versuche von der Seite zur Mitte, in Dreiergruppen.

VERSUCHSANORDNUNG E UND F ("mit Bild und Erwartung", von der Mitte zur Seite bzw. von der Seite zur Mitte)

Die Versuchsperson soll das Bild betrachten, wie sie üblicherweise ein Fernsehbild ansieht. Sie soll davon ausgehen ("Erwartung"), daß der Ton aus dem Mund des Sprechers kommt, aber sofort Stopp

drücken, wenn ihr dieses Zusammenlegen der optischen und akustischen Reize nicht mehr möglich ist, wenn der Ton von der Mitte zur Seite wandert (Anordnung E) bzw. sobald ihr dieses bei Fahrt von der Seite zur Mitte (Anordnung F) wieder möglich ist. Ansonsten entsprechen die Versuchsbedingungen E und F den oben beschriebenen.

Die Versuchspersonen wurden frei, nicht standardisiert, über ihre Aufgaben beim Versuch unterrichtet. Wir forderten sie auf, sich bei den Aufgaben mit Bild (C, D, E, F) vor allem auf das Bild und insbesondere den Mund zu konzentrieren. Nach jedem Block (AB, CD, EF) wurde eine kurze Pause gemacht.

Zwölf Versuchspersonen war die Methode, wie die Wandering des Tones erzeugt wurde, vor der Teilnahme bekannt, die anderen erfuhren sie erst nach Versuchsende. Die Funktion der Prismenbrille war allen bekannt.

Die erste Gruppe der Versuchspersonen (VP 1-VP 10) nahm in der Reihenfolge "ohne Bild", "Fadenkreuz", "Bild und Erwartung" an den Versuchen teil. Bei der zweiten Hälfte war die Reihenfolge umgekehrt. Von jeder Aufgabe (A, B, C, D, E, F) wurden zwei Demonstrationsläufe zur Übung nicht in die Auswertung einbezogen.

2.4 BEMERKUNGEN ZUM VERSUCHSAUFBAU

2.4.1 LAUFZEITKETTE UND KOPFHÖRER ODER FREIES SCHALLFELD UND BEWEGLICHER LAUTSPRECHER ?

Bei der Wahl zwischen beweglichem Lautsprecher (eine weitere Möglichkeit, viele stationäre Lautsprecher nebeneinander aufzustellen, war zu teuer) und elektroakustischer Verzögerungskette entschieden wir uns für die erste Methode; denn wir zogen es vor, den Versuch im freien Schallfeld durchzuführen und nicht den Schall durch Kopfhörer zuzuleiten.

Die Vorteile einer elektroakustischen Verzögerungskette aber wären nur zusammen mit Kopfhörern zur Geltung gekommen, nicht dagegen mit zwei Lautsprechern, da nur die Verwendung von Kopfhörern uns die Verkleidung der Apparatur erspart hätte. Allerdings hätten die Versuchspersonen keine Prismenbrille tragen müssen.

PREIBISCH - EFFENBERGER nennt die Vorteile der Verzögerungskette, nämlich "geringer Aufwand, die leichte Anwendbarkeit für eine Untersuchung, die Handlichkeit des Untersuchungsgerätes und die leichte Deutung der Meßergebnisse". Als nachteilig bezeichnet er die viel zu grobe Meßgenauigkeit. LEHNHARDT 1960 hält eine elektrische Laufzeitkette für ungünstig, weil sie nicht nur verzögere, sondern auch frequenzabhängig dämpfe.

Da sie eine subjektive Tonwanderung im Kopf der Versuchsperson hervorrufen sollen und deshalb die Genauigkeit der Lokalisation kleiner als bei Freifeldversuchen ist, lehnt NORDLUND (nach TONNING 1975) den Gebrauch von Kopfhörern ab; derselbe Autor zeigt indes, daß Freifeldversuche unsicher und schwer zu reproduzieren sind (30).

Die physikalischen Unterschiede zwischen Freifeld- und Kopfhörerhören und ihre Folgen - nämlich Lokalisation = outside head localization (OHL) beim Versuch im freien Schallfeld und Lateralisation = inside head localization (IHL) bei Schallübertragung mit Kopfhörer - beschreiben SONE et al. 1968. Sie sehen den Grund dafür im unterschiedlichen Wirksamwerden der Knochenleitung. Andere Arbeiten weisen nach, daß die Frage "IHL oder OHL" nicht von der akustischen Transmission abhängt, sondern nur von den Ohrsignalen (cf. LAWS 1972 in BLAUERT 1974); scheinbar nahe Schallquellen bedingen Hörereignisse im Kopf. PLENGE 1974 meint außerdem, daß Nichtübereinstimmung eines neuen akustischen Reizes mit dem Wissen der Versuchsperson über mögliche Schallquellen und den Hörraum zur störenden Lateralisation führt.

"Die theoretische Begründung des Meßverfahrens im freien Schallfeld ist, daß alle reizunterschiedlichen physikalischen Parameter der akustischen Erregung auf natürliche Weise zustande kommen und so den Ohren zugeleitet werden" (35). Man erhält auf jeden Fall einen Höreindruck, der sich nach außen projiziert (OHL).

Außerdem ermöglicht die Methode die Messung des Richtungshörens in Winkelgraden im gesamten Hörfeld (35).

Über die Mechanismen des Richtungshörens erhält man selbstverständlich keine Auskunft; wenn es nicht auf die Bestätigung einer speziellen Hörtheorie ankommt, sondern vielmehr die Gesamtheit aller zum Richtungseindruck beitragenden Charakteristika eines Schallereignisses ausgenutzt werden soll, ist die Freifeldmethode vorzuziehen (35, 42).

Die individuellen Schwankungen in der Form der Ohrmuschel können beim Richtungshören im freien Schallfeld vernachlässigt werden (7). Richtungshörprüfungen mit bewegter Schallquelle sind gleichwertig zu Prüfungen, bei denen eine stationäre Schallquelle verwendet wird (12).

2.4.2 EINFLUSS VON KOPFBEWEGUNGEN AUF DAS RICHTUNGSHÖREN

Peilbewegungen des Kopfes werden zur Klärung der physikalischen Mehrdeutigkeit der reinen Zeit- und Intensitätsdifferenzen gefordert (Drehtheorie; Literatur bei BLAUERT 1974 und bei TONNING 1975): es gibt keine eindeutige Zuordnung der physikalischen Signalrichtung zur gehörten ohne Kopfbewegung. Auf die strenge Koppelung von Sensorik und Motorik verweist KEIDEL 1966.

Die meisten Autoren stimmen überein, daß Kopfbewegungen die Fähigkeit, die Schalleinfallsrichtung zu bestimmen, verbessern; wenn Kopfbewegungen möglich sind, liegt das Hörereignis fast ausnahmslos in der Schalleinfallsrichtung (3, 5).

KÖNIG und SUSSMANN (zitiert nach HARRIS und SERGEANT 1971) stellten 1955 fest, daß pulssynchrone Kopfbewegungen im 5- Bogensekundenbereich und zufallsbedingte im 3- Gradbereich auch mit Kopfstütze vorkämen.

LAMBERT 1974 gründet seine "Dynamic theory of sound source localization" auf die Zeit- und Intensitätsveränderungen, die sich durch eine Kopfbewegung mit folgender Verrechnung der veränderten Größen ergeben. Da nach FREEDMAN und FISHER (zitiert nach LAMBERT) die Ohrmuschel nur bei unbeweglichem Kopf die Richtungshörfähigkeit verbessert, schließt LAMBERT, daß in dieser Situation vor allem hohe Frequenzen zum Richtungseindruck beitragen.

Andrerseits wies KIETZ 1953 gutes Richtungshören für Klicks, die zu kurz waren, um Kopfbewegungen zu erlauben, nach.

Wir unterstützten den Kopf mit einer Kinnstütze und erreichten damit Höhen- und Entfernungskonstanz und konnten zumindest größere Kopfbewegungen ausschließen.

Um Kopfbewegungen für die Anzeige der Richtung unnötig zu machen, verwendeten wir nicht, wie z.B. GOLDSTEIN und ROSENTHAL-VEIT 1926 einen Kopfstrahl, sondern die elektrischen Schalter (Abb. 4), die bequem mit der rechten oder linken Hand bedient werden konnten. Dadurch waren auch Zeigebewegungen, die in uns unbekanntem Ausmaß vom räumlichen Bild- Ton- Konflikt beeinflußt werden, überflüssig.

2.4.3 EINFLUSS VON AUGEN- UND LIDBEWEGUNGEN

GOLDSTEIN und ROSENTHAL - VEIT fanden, daß bei Richtungshörversuchen durch Bewegung der Augen (gleichgültig, ob sie offen oder geschlossen sind) der Ton nach der Augenwendung entgegengesetzten Seite verschoben wird; dagegen soll bei stetigem Blick nach einer Seite der Ton meist auf diese Seite wandern. Daß die Richtungsempfindung mit der Augenstellung zusammenhängt, ergaben auch neuere Versuche von WEERTS und THURLOW 1971.

RYAN und SCHEHR 1941, die die Thesen GOLDSTEIN's kritisch überprüften, kamen zu dem Ergebnis, daß der Einfluß der Augenbewegungen zumindest sehr unregelmäßig ist (cf. 23, 24). GOTTICH 1937 und MEYER ZUM GOTTESBERGE 1940 (zitiert nach BLAUERT 1974) halten für eine möglichst genaue Übereinstimmung der Seh- und Hörereignisrichtung mit der Schallquellenrichtung Augenbewegungen für unerlässlich.

Ob zwischen Schalllokalisation mit offenen und geschlossenen Augen ein Unterschied besteht, ist ebenfalls nicht klar.

Da wir diese strittigen Fragen nicht entscheiden konnten, wiesen wir die Versuchspersonen an, die Augen bei allen Versuchen (auch bei Versuchen ohne Bild, bei denen es vollkommen dunkel war) geöffnet zu halten und sich (bei Versuchen mit Bild) auf den Mund des Fernsehsprechers zu konzentrieren.

2.4.4 EINFLUSS DER PRISMENBRILLE AUF DAS RICHTUNGSHÖREN

Beim Tragen einer Prismenbrille ändert sich die Sehweite, ebenso wird eine Änderung des Richtungshörens für möglich erachtet. So ließen sich Versuchspersonen allein durch Tragen einer Prismenbrille, die seitlich versetzte, in der Lokalisation von Klicks beeinflussen, ohne daß sie die Schallquelle sahen (23). Die falsche Richtungsbestimmung, die nur auftrat, wenn die Versuchsperson ihre Umgebung sah, führt der Autor auf eine Fehleinschätzung von Kopf und Körper zueinander und zur Umgebung zurück (24). Diese spiegelt sich wieder in der falschen Einschätzung der Schallquellenrichtung durch die Versuchsperson (cf. 6).

Die Adaptation an eine Prismenbrille (die Wiederherstellung der ursprünglichen Sehweite) ist direkt an der Normalisierung des Richtungshörens ablesbar (23; cf. 43).

In unserer Kammer, die nur vom Fernsehbild beleuchtet wurde, war es zu dunkel, um die Konturen des Raumes zu sehen. Wir glauben deshalb, daß in unserem Versuch die Prismenbrille (sie versetzte das Bild nach oben) die Richtungsbestimmung der Versuchsperson in der Horizontalebene nicht beeinträchtigte.

3.0 ERGEBNISSE

Bei mehreren Versuchspersonen war der Mittelwert des Stoppwinkels auf der linken Seite (die "Linkswahrnehmung", errechnet aus sechs Versuchen nach dieser Seite für eine Versuchsanordnung) nicht gleich groß wie der auf der rechten ("Rechtswahrnehmung", aus den sechs Läufen nach rechts ermittelt). Um derartige Links- rechts- Unsymmetrien zu vermeiden, die nach Entfernung der Röhre nicht mehr systematisch nach einer Seite hin auftraten, wurde aus jeweils zwölf Werten für eine Versuchsanordnung (A, B, C, D, E, F) ein einziger Mittelwert errechnet. Dieser eine Mittelwert für jeden der Fälle A - E, der eventuelle Unterschiede zwischen links und rechts nicht mehr berücksichtigt, also seitenunabhängig ist, wurde für die weitere statistische Auswertung herangezogen.

Bei Versuchspersonen, von denen Ergebnisse an mehreren Tagen vorlagen, wurde zufällig ein Tag ausgewählt.

3.1 VERSUCH A - E MIT 24 VERSCHIEDENEN PERSONEN

Die Stoppwinkel der einzelnen Versuchspersonen (arithmetische Mittelwerte, nach der oben beschriebenen Methode ermittelt) sind in Tabelle 1 und 2 aufgelistet, ihre Verteilung in den Histogrammen der Abbildung 5 dargestellt.

Für jede Versuchsanordnung sind die Mittelwerte der Mittelwerte, deren Streuung und Varianz in Tabelle 3 aufgeführt.

Selbstverständlich war unsere Winkelbestimmungsmethode nicht genau auf zwei Kommastellen; da es sich um berechnete Werte handelt, geben wir sie so wieder, wie sie in den statistischen Tests eingesetzt wurden.

Versuchsperson 22 wurde bei den folgenden statistischen Tests nicht berücksichtigt, da sie auf einem Ohr schwerhörig war, die Versuchspersonen 23 und 24 wurden nicht berücksichtigt, weil sie nicht an allen Versuchen teilgenommen hatten.

Tabelle 1: Mittelwerte des Stoppwinkels für die Versuchsanordnungen A,C,E.

Bewegung des Lautsprechers von der Mitte zur Seite.

Versuchsanordnung ohne Bild (A)		Versuchsanordnung " Fadenkreuz "(C)	Versuchsanordnung Bild u. Erwartung(E)	
VP	1	1.83	3.17	10.00
"	2	2.83	5.33	9.17
"	3	3.17	2.17	8.17
"	4	3.17	2.66	2.33
"	5	3.17	2.83	9.17
"	6	3.67	5.33	8.83
"	7	2.33	2.50	4.00
"	8	4.17	3.17	6.67
"	9	2.83	2.17	5.00
"	10	2.17	2.25	8.83
"	11	1.83	3.00	7.50
"	12	4.17	4.50	5.67
"	13	3.83	3.17	5.00
"	14	3.00	5.33	8.16
"	15	2.33	2.50	6.33
"	16	2.33	2.33	5.83
"	17	3.50	3.00	6.83
"	18	3.83	3.33	7.67
"	19	2.50	2.33	9.83
"	20	2.67	2.33	5.00
"	21	2.50	4.50	6.00
"	22	5.83	5.33	7.00
"	23	1.58	0.83	----
"	24	3.17	2.00	----

Tabelle 2: Mittelwerte des Stoppwinkels für die Versuchsanordnungen B,D,F.

Bewegung des Lautsprechers von der Seite zur Mitte.

Versuchsanordnung ohne Bild (B)		Versuchsanordnung "Fadenkreuz" (D)	Versuchsanordnung Bild und Erwartung (F)	
VP	1	4.33	5.67	11.66
"	2	1.00	2.33	5.00
"	3	2.08	5.00	9.00
"	4	2.50	2.33	3.50
"	5	3.83	2.50	7.67
"	6	4.83	4.33	4.00
"	7	0.34	2.67	6.50
"	8	0.67	6.83	7.50
"	9	3.83	3.66	11.25
"	10	8.50	2.83	7.33
"	11	8.00	5.66	7.33
"	12	3.83	6.17	4.00
"	13	8.00	8.67	10.50
"	14	6.17	5.17	7.50
"	15	9.33	9.00	10.50
"	16	4.33	4.00	7.16
"	17	4.16	9.16	10.33
"	18	6.67	7.16	8.33
"	19	3.33	4.00	11.33
"	20	8.83	8.66	10.75
"	21	6.17	7.17	12.33
"	22	9.00	9.33	10.67
"	23	3.83	1.83	-----
"	24	4.50	5.50	-----

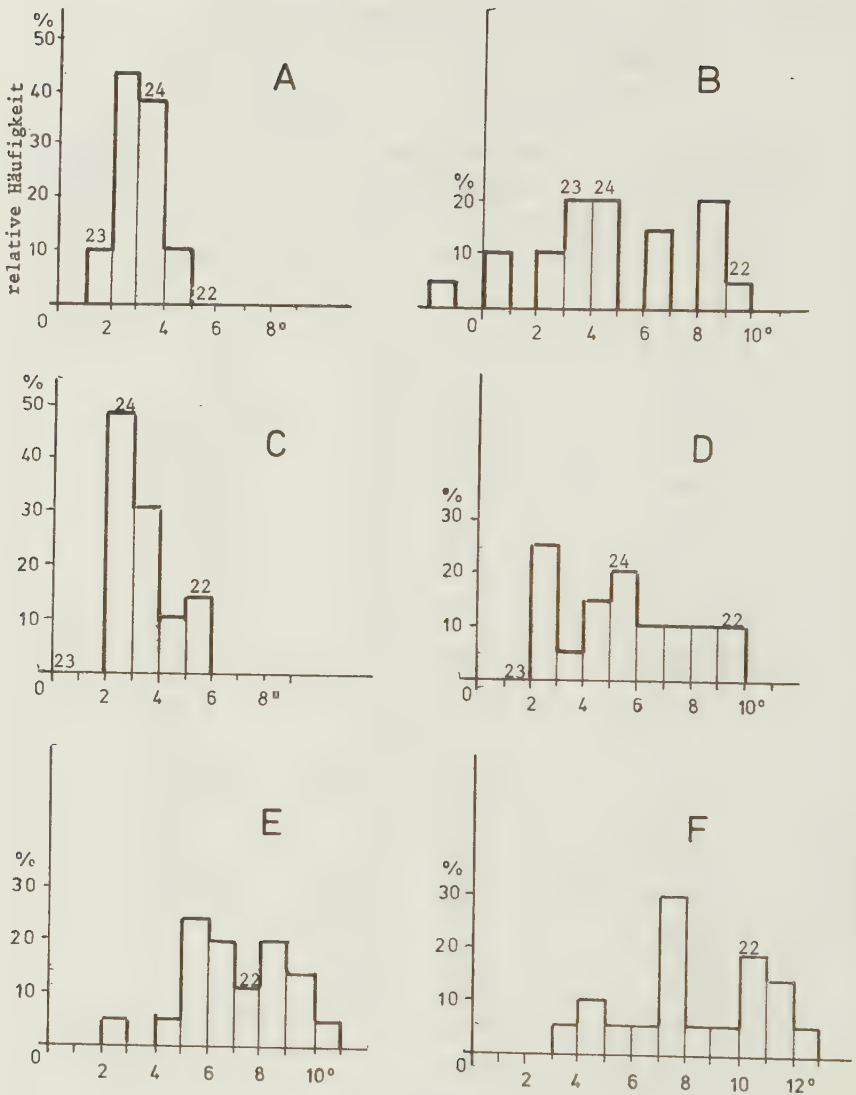


Abb. 5: Histogramme der Stoppwinkel bei den einzelnen Versuchsanordnungen.

A, C, E: Lautsprecherbewegung Mitte - Seite

B, D, F: Lautsprecherbewegung Seite - Mitte

A und B: "ohne Bild", C und D: "Fadenkreuz", E und F: "Bild u. Erwartung"

Werte, die auf eine Klassengrenze fallen, werden zur höheren

Klasse gerechnet. Über den Säulen, in die die Werte der VP 22, 23, 24

fallen würden, sind die entsprechenden Nummern aufgetragen.

Tabelle 3: Mittelwerte der Mittelwerte, deren Streuung und Varianz, berechnet aus den in Tabelle 1 und 2 dargestellten Werten der Versuchspersonen 1-21.

<u>MITTE - SEITE</u>	Mittelwert	Streuung	Varianz
"ohne Bild":A	2.9	0.7	0.5
"Fadenkreuz":C	3.2	1.1	1.2
"Bild und Erwartung":E	7.0	2.1	4.2

<u>SEITE - MITTE</u>	Mittelwert	Streuung	Varianz
"ohne Bild":B	4.7	2.9	8.4
"Fadenkreuz":D	5.4	2.3	5.4
"Bild und Erwartung":F	8.3	2.7	7.2

3.1.1 VERGLEICH VERSCHIEDENER LAUFRICHTUNGEN (VERGLEICH A zu B, C zu D, E zu F)

Mit dem t - Test für verbundene Stichproben prüften wir, ob bei einer Versuchsanordnung ("ohne Bild", "Fadenkreuz", "Bild und Erwartung") Unterschiede zwischen den Stoppwinkeln bei Laufrichtung Mitte - Seite gegenüber Bewegung Seite - Mitte vorlagen.

3.1.1.1 Beim Vergleich Mitte - Seite-gegenüber Seite - Mitte-Laufrichtung unter der Anordnung "Bild und Erwartung" (Fall E und F) ergab sich ein berechneter t- Wert von 1.893 . Da dieser Wert bei zweiseitiger Fragestellung unter dem kritischen Wert der t- Verteilung (für zwanzig Freiheitsgrade und fünf Prozent Irrtumswahrscheinlichkeit) liegt, ließ sich ein Unterschied zwischen E und F nicht sichern (5%- Niveau).

3.1.1.2 Da sich für den Vergleich Mitte - Seite zu Seite - Mitte unter der Anordnung "ohne Bild" (Fall A und B) die Testgröße zu 2.572 berechnet und dieser Wert größer als der kritische ist (t- Verteilung mit zwanzig Freiheitsgraden und Irrtumswahrscheinlichkeit fünf Prozent), besteht zwischen den beiden Stichproben auf dem 5%- Niveau ein signifikanter Unterschied.

3.1.1.3 Ein Unterschied zwischen Mitte - Seite und Seite - Mitte läßt sich für die Anordnung "Fadenkreuz" (Fall C und D) auf dem 1%- Niveau sichern, da der kritische Wert der t- Verteilung bei dieser Irrtumswahrscheinlichkeit (zweiseitige Fragestellung und zwanzig Freiheitsgrade) kleiner als der zu $t = 3.835$ berechnete ist.

3.1.2 VERGLEICH VERSCHIEDENER VERSUCHSANORDNUNGEN (VERGLEICH VON A MIT C UND E, SOWIE VON B MIT D UND F)

Mit dem Friedman- Test, einer von FRIEDMAN für den verteilungs- unabhängigen Vergleich mehrerer abhängiger Stichproben von Meß- werten entwickelten Rangvarianzanalyse, untersuchten wir, ob Verteilungsunterschiede zwischen den Anordnungen "ohne Bild", "Fadenkreuz" und "Bild und Erwartung" (Fall A, C, E; Lautsprecher- bewegung von der Mitte zur Seite) vorliegen. Ebenso wurden die Fälle B, D, F (Lautsprecherbewegung von der Seite zur Mitte) getestet.

Die drei Beobachtungswerte jeder Versuchsperson (für eine Laut- sprecherlaufrichtung) werden der Größe nach geordnet und ihnen die Rangzahlen 1 bis 3 (drei Versuchsbedingungen: A, C, E) ent- sprechend zugeordnet. Für jede Versuchsbedingung wird die Summe der Rangzahlen ermittelt. Der Erwartungswert der Rangsummen unter der Nullhypothese ist 42 (21 Versuchspersonen: $7 \times 1 + 7 \times 2 + 7 \times 3 = 42$). Die Rangsummen errechnen sich für

Anordnung A zu 32.5

für Anordnung C zu 32.5

und für Anordnung E zu 61 .

Unter Berücksichtigung auftretender Bindungen berechneten wir die Testgröße zu 26.096 . Die Prüfgröße ist asymptotisch chi- quadrat- verteilt mit zwei Freiheitsgraden. Da die Testgröße größer als der kritische Wert der Chi- quadrat- verteilung (zwei Freiheitsgrade und 0.1% Irrtumswahrscheinlichkeit) ist, muß Gleichheit der Ergeb- nisse der drei Versuchsbedingungen A, C, E auf dem 0.1%- Niveau abgelehnt werden.

Zwischen den Bedingungen "ohne Bild" (A) und "Fadenkreuz" (C) besteht offenbar kein Unterschied, während sich die Werte bei Anordnung "Bild und Erwartung" (E) deutlich von den anderen unter- scheiden.

Für den Vergleich der Versuche B, D, F (Seite - Mitte) ergibt sich wie oben, daß die Werte der einzelnen Versuchsanordnungen nicht derselben Grundgesamtheit entstammen können, da die Testgröße mit 18.286 größer als der kritische Wert der Prüfverteilung ist (0.1 Prozent Irrtumswahrscheinlichkeit).

Die Rangsummen errechnen sich für Fall B und D zu 34, für Fall F zu 58; der Erwartungswert ist 42.

Wiederum besteht kein Grund, einen Unterschied zwischen B und D anzunehmen.

3.1.3 VERGLEICH DER VARIANZEN DER EINZELNEN VERSUCHSANORDNUNGEN (A-B, C-D, E-F; A-C, A-E, C-E; B-D, B-F, D-F)

Mit dem von SACHS (S. 244) angegebenen Test zur Prüfung der Gleichheit zweier verbundener Varianzen untersuchten wir die Varianzen der Versuchsergebnisse unserer Versuchspersonen.

Beim V_e_r_g_l_e_i_c_h errechnete sich als T_e_s_t_g_r_ö_ß_e:

A-B ("ohne Bild", verschiedene Laufrichtung)	8.4648
C-D ("Fadenkreuz", verschiedene Laufrichtung)	3.5980
E-F ("Bild und Erwartung", verschiedene Laufrichtung)	1.2088
A-C (Mitte-Seite: "ohne Bild"- "Fadenkreuz")	1.9892
A-E (Mitte-Seite: "ohne Bild"- "Bild und Erwartung")	5.5457
C-E (Mitte-Seite: "Fadenkreuz"- "Bild und Erwartung")	3.0445
B-D (Seite-Mitte: "ohne Bild"- "Fadenkreuz")	1.1660
B-F (Seite-Mitte: "ohne Bild"- "Bild und Erwartung")	0.3397
D-F (Seite-Mitte: "Fadenkreuz"- "Bild und Erwartung")	0.7727

Da für 0.1-Prozent Irrtumswahrscheinlichkeit für den Einzeltest (also unter 1% Gesamtirrtumswahrscheinlichkeit für alle neun Tests) bei zweiseitiger Fragestellung der kritische Wert der Prüfverteilung (t -verteilt mit 19 Freiheitsgraden) 3.883 beträgt, unterscheiden sich nur A-B und A-E signifikant voneinander.

Bei Seite - Mitte- Bewegung des Lautsprechers erfolgt die Lokalisation der Mitte mit größerer Varianz als die der Seitlichkeit bei entgegengesetzter Bewegung; dies ist auf dem 0.1%- Niveau gesichert für die Anordnung "ohne Bild", für Anordnung "Fadenkreuz" besteht eindrucksmäßig dieselbe Tendenz.

Zwischen Anordnung "ohne Bild" (A) und Anordnung "Bild und Erwartung" (E) besteht bezüglich der Varianz ein signifikanter Unterschied (0.1%- Niveau), wenn der Lautsprecher von der Mitte zur Seite gezogen wird. Der gleiche Unterschied scheint zwischen Anordnung "Fadenkreuz" (C) und Anordnung "Bild und Erwartung" (E) zu bestehen, ist aber wieder nicht signifikant auf dem 0.1%- Niveau.

Die Ergebnisse von B und D (Mittelwerte der Stoppwinkel) scheinen miteinander zu korrelieren. Wir vermuten dies aufgrund von Abb. 6:

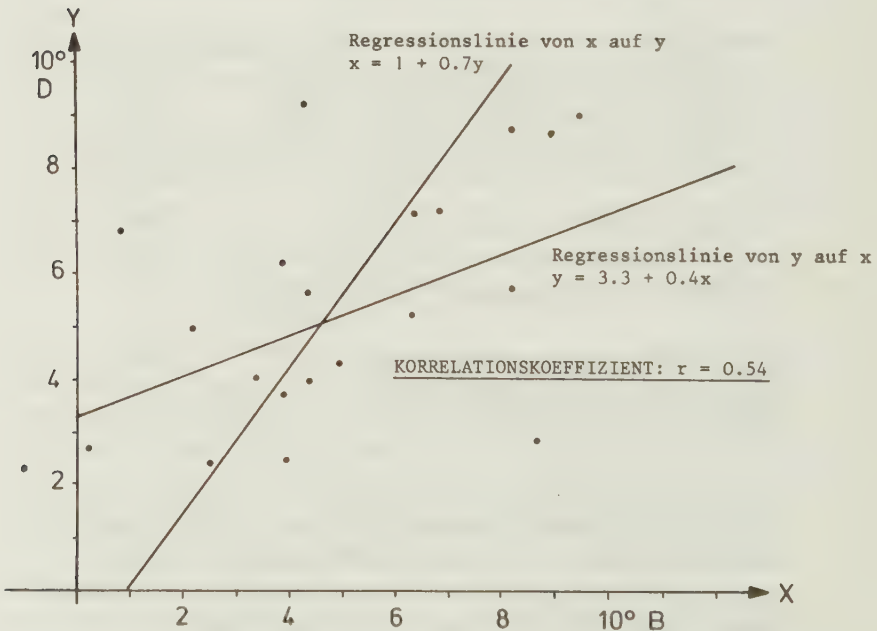


Abb. 6: Regressionslinien

x-Achse: Stoppwinkel für Bedingung B ("ohne Bild", Seite-Mitte)
y-Achse: Stoppwinkel für Bedingung D ("Fadenkreuz", Seite-Mitte)

Wer unter Anordnung "Fadenkreuz" (D) bei Seite - Mitte-Laufrichtung schon frühzeitig stoppt, macht das auch "ohne Bild" (B). Es scheint, daß den entsprechenden Versuchspersonen auch die optische Markierung der Mitte ("Fadenkreuz") nicht zu einer besseren Lokalisation verhalf, wenn sie "ohne Bild" die Mitte- Position des Wagens nur ungenau ermitteln konnten.

Ebenso scheint es, daß Versuchspersonen, die unter der Anordnung "Fadenkreuz" (D) früh stoppten, dies auch bei Anordnung "Bild und Erwartung" (F) machten (Korrelationskoeffizient $r = 0.52$). Wer mit "Fadenkreuz" die Mitte nicht genau lokalisierte, verschmolz Bild und Ton bei Anordnung "Bild und Erwartung" am ehesten.

Wir verzichteten darauf, die Signifikanz der Korrelationskoeffizienten zu prüfen, da wir vor Versuchsbeginn bezüglich dieser Fragestellung keine Hypothese aufgestellt hatten und nicht durch zu viele statistische Tests die Irrtumswahrscheinlichkeit unnötig erhöhen wollten. Der letzte Abschnitt möge also nur als Hinweis auf diese möglicherweise bestehenden Korrelationen verstanden werden!

3.2 VERSUCH A - E MIT EINER VERSUCHSPERSON AN VIER VERSCHIEDENEN TAGEN

Mit der Versuchsperson 1 wurden die Versuche A-D an vier aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt, E und F nur am 1. und 2. Tag. Tabelle 4 und Abbildung 7 geben einen Überblick über (arithmetischen) Mittelwert und Streuung des Stoppwinkels an den einzelnen Tagen. Berechnet ist auch die Standardabweichung aus allen Versuchsergebnissen der Versuchsperson 1 an den vier (bzw. zwei) Tagen. Man erkennt, daß an den einzelnen Tagen die Mittelwerte und Streuungen rechts und links nicht gleich sind, die Streubereiche aus mehreren Tagen aber ungefähr symmetrisch beiderseits des Mittelpunktes liegen.

Tabelle 4: Versuchsperson 1; Angabe der Mittelwerte (mittlere Zahl) und der Streuung (erste und dritte Zahl) bei den verschiedenen Versuchsanordnungen an vier aufeinanderfolgenden Tagen. Außerdem sind Gesamt-mittelwert und gesamter Streubereich berechnet. Als Folge der Umrechnung von Voltmeterskalenteilen in Winkelgrad liegt der Mittelwert nicht immer exakt in der Mitte des Streubereichs. Jedem Mittelwert liegen sechs Lautsprecherfahrten zugrunde.

		<u>Mitte - Seite</u>					
		Mitte - links			Mitte - rechts		
"ohne Bild"(A)	1. Tag	1.3	1.7	2.0	1.5	2.0	2.3
	2. Tag	2.3	3.0	3.7	2.0	2.7	3.3
	3. Tag	1.7	2.3	3.0	1.0	2.0	3.3
	4. Tag	1.3	2.0	2.7	1.5	2.0	2.3
	"Gesamt"	1.7	2.3	3.0	1.6	2.2	2.8
"Fadenkreuz"(C)	1. Tag	2.3	3.3	4.3	3.3	4.0	4.7
	2. Tag	2.0	3.3	4.7	2.0	3.0	4.0
	3. Tag	1.3	2.3	3.3	1.5	2.0	2.3
	4. Tag	1.3	2.0	2.7	1.0	2.0	2.7
	"Gesamt"	1.7	3.0	4.0	1.5	2.7	3.7
"Bild und Erwartung"(E)	1. Tag	7.7	10.5	13.3	7.3	9.3	11.3
	2. Tag	8.3	11.3	13.7	11.3	12.5	13.0
	"Gesamt"	8.3	11.0	13.3	8.7	11.0	13.0
		<u>Seite - Mitte</u>					
		links - Mitte			rechts - Mitte		
"ohne Bild"(B)	1. Tag	2.0	3.6	5.3	3.6	5.0	6.3
	2. Tag	4.3	5.3	6.3	2.3	3.7	5.0
	3. Tag	3.3	5.0	6.6	0.7	3.0	5.0
	4. Tag	2.0	3.6	5.3	1.5	2.7	3.7
	"Gesamt"	2.7	4.3	6.0	2.0	3.9	5.5
"Fadenkreuz"(D)	1. Tag	4.0	5.7	7.3	5.7	7.0	8.3
	2. Tag	5.3	6.0	6.7	3.0	4.0	5.0
	3. Tag	3.7	5.3	7.0	4.3	6.0	7.7
	4. Tag	5.0	6.0	7.0	2.7	4.0	5.3
	"Gesamt"	4.4	5.8	7.0	3.7	5.2	7.0
"Bild und Erwartung"(F)	1. Tag	10.0	11.0	11.7	9.7	10.7	11.7
	2. Tag	10.5	11.7	12.7	11.0	11.7	12.3
	"Gesamt"	10.0	11.0	12.4	10.0	11.0	12.0

Die Ergebnisse, die in Abschnitt 3.1 für 21 Versuchspersonen statistisch gesichert wurden, kann man anhand von Abbildung 7 auch an Versuchen mit einer Versuchsperson an mehreren Tagen zeigen.

Man sieht,

- daß E und F deutlich größere (Mittel-)Werte (des Stoppwinkels) als A, C bzw. B, D liefern,
- daß die Streubereiche für Mitte - Seite - Bewegung des Lautsprechers bei kleineren Winkelwerten liegen als bei Seite - Mitte - Bewegung (für Anordnung "ohne Bild" und "Fadenkreuz"),
- und daß der Streubereich des Stoppwinkels bei Mitte - Seite - Fahrt mit "Bild und Erwartung" größer als "ohne Bild" ist.

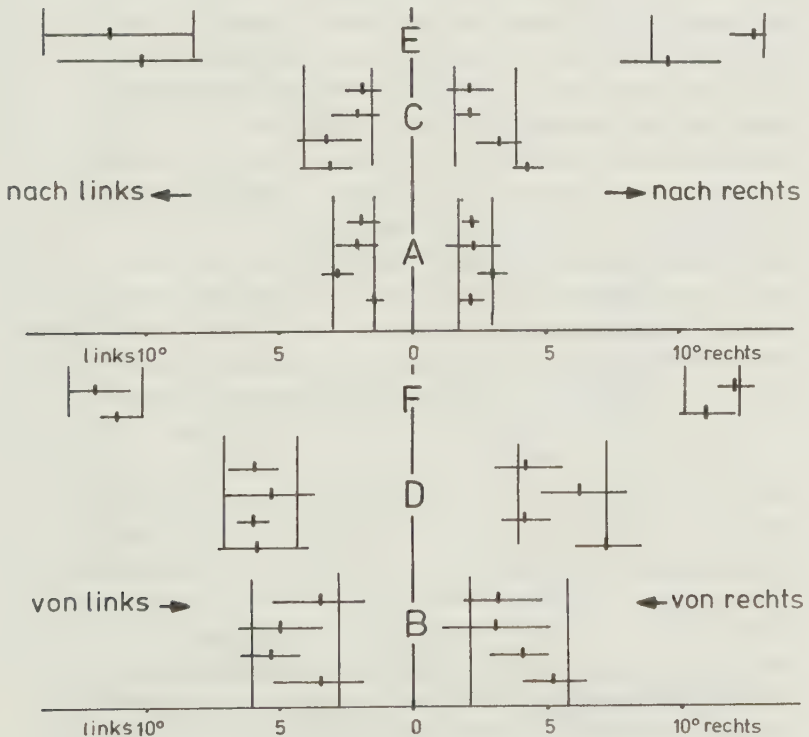


Abb. 7: Graphische Darstellung der Werte von Tabelle 4.

Die waagerechten Linien geben die Tagesstreuungen des Stoppwinkels (von unten nach oben 1. - 4. Tag), die senkrechten die Gesamtstreuung, jeweils nach beiden Seiten des Mittelwerts.

3.3 EINFLUSS VERSCHIEDENER BEWEGUNGS- GESCHWINDIGKEITEN UND ÜBUNGSEFFEKTE

Bei einer Versuchsperson (VP 25), die in keinem anderen Versuch eingesetzt war, testeten wir den Einfluß verschiedener Geschwindigkeiten des Lautsprechers. Der Versuch fand unter der Anordnung "Fadenkreuz" statt, der Ton wanderte von der Mitte zur Seite. Die Versuchsperson wurde mit zehn Fahrten eingeübt. Der Wagen bewegte sich mit drei verschiedenen Geschwindigkeiten: Fall 1 etwa 6.5 Grad/ Minute, Fall 2 etwa 11.5 Grad/ Minute und Fall 3 circa 16 Grad/ Minute. Die sonstigen Versuchsbedingungen waren wie für Versuchsanordnung C beschrieben.

Der Ton wanderte mit jeder der drei Geschwindigkeiten zehnmal nach links und zehnmal nach rechts. Sowohl die Entscheidung links oder rechts als auch die verwendete Geschwindigkeit waren zufällig festgelegt über den Zufallsgenerator eines Taschenrechners (ungerade Zahl = links, gerade Zahl = rechts; Zahlenwert 0-33 = geringe Geschwindigkeit, 34-66 = mittlere Geschwindigkeit, 67-99, = hohe Geschwindigkeit).

Nachdem alle sechzig Läufe beendet waren, wurde eine Pause von circa zehn Minuten eingelegt. Dann wurde der Versuch wiederholt (2. Versuchsreihe).

Wieder wurden die Winkel, die sich aus den Versuchen nach links und rechts ergaben, bei der Auswertung zusammengelegt. Diese seitenunabhängigen Winkel können der Tabelle 5 entnommen werden.

Aus den Ergebnissen (cf. Tab. 5) glauben wir entnehmen zu können, daß die Versuchsperson den Winkel, an dem sie den Wagen stoppt, nicht vornehmlich nach der Zeit beurteilt: Denn in Fall 2 läuft der Wagen etwa 40 Prozent schneller als in Fall 1; die Versuchsperson stoppt aber auch 40 Prozent eher. Daß der Vergleich zu Fall 3 nicht ebenso ausfällt, liegt wohl an einem prinzipiellen Nachteil der Versuchsanordnung: die Versuchsperson wurde zwar beauftragt, sofort, wenn sie die Seite eindeutig bezeichnen konnte, zu stoppen, aber das Sicherheitsgefühl der Versuchsperson kann anscheinend nicht als konstant angesetzt werden.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FALL 1	6.5	9.2	2.4 (0.9)	1.8 (0.9)	2.1	22	17	19	23	--	--
FALL 2	11.5	5.2	2.5 (0.7)	2.2 (0.8)	2.4	13	11	12	15	43	37
FALL 3	16	3.8	2.9 (0.7)	2.3 (0.9)	2.6	11	9	10	18	59	47

Geschwindigkeit in
Winkelgrad/ MinuteZeitbedarf für ein
Grad in Sekunden1. VERSUCHSREIHE
Mittelwert und Streuung
(Klammer) des Stoppwinkels2. VERSUCHSREIHE
Mittelwert und Streuung
(Klammer) des Stoppwinkels

Mittelwert aus 3 und 4

Zeitbedarf, um den Winkel
in 3 zu durchfahren
(1. Versuchsreihe)Zeitbedarf, um den Winkel
in 4 zu durchfahren
(2. Versuchsreihe)Zeitbedarf, um den Winkel
in 5 zu durchfahrenProzentualer Unterschied
zwischen 6 und 7Prozentualer Unterschied
innerhalb der Spalte 2Prozentualer Unterschied
innerhalb der Spalte 8

Tabelle 5: Mittlerer Stoppwinkel und Zeitbedarf, den der Lautsprecherwagen hat, um diesen Winkel (mit verschiedenen

Geschwindigkeiten: Fall 1, 2, 3) zu durchlaufen. Die prozentualen Unterschiede (Spalte 9, 10, 11) berechnen sich nach der Formel $(a - b) : b \times 100$; für "b" wurden die Werte in Spalte 6 oder die Werte von Fall 1 eingesetzt; für "a" dementsprechend Werte der Spalte 7 oder die Werte von Fall 2 bzw. 3.

Wenn die Versuchsperson in Fall 3 ein Wort, das entspricht etwa einer Sekunde (in 15 Sekunden wurden 14 Wörter vorgelesen), zu lange wartete, änderte sich der mittlere Zeitbedarf (Zeit vom Start des Wagens bis zum Stopp durch die Versuchsperson; Spalte 8) um fast zehn Prozent, in Fall 1 nur um ca. fünf Prozent.

Ein weiteres Ergebnis dieses Versuchs: man kann einen Lerneffekt nachweisen. Die (Stoppwinkelmittel-)Werte der 2. Versuchsreihe sind alle besser als die der ersten. Die Standardabweichung bleibt dagegen sowohl bei den verschiedenen Geschwindigkeiten als auch im Vergleich der ersten zur zweiten Versuchsreihe ziemlich konstant. Innerhalb einer Versuchsreihe konnte keine Tendenz zur Verkleinerung des Stoppwinkels bei zunehmender Übung festgestellt werden.

Die Messung von Tag zu Tag, die in Abschnitt 3.2 behandelt wurde, zeigt ebenfalls ein Kleinerwerden des Winkels (Mittelwerte) mit zunehmender Übung von Tag zu Tag, aber keine Änderung der Streuung.

Auch Versuchsperson 1 nahm an Experimenten mit verschiedenen Geschwindigkeiten teil. Da nicht für alle Bedingungen gleich viele Ergebnisse vorliegen (Mindestzahl pro Geschwindigkeit aber acht), wird nur eine graphische Darstellung der Streuung gegeben (Abb. 8).

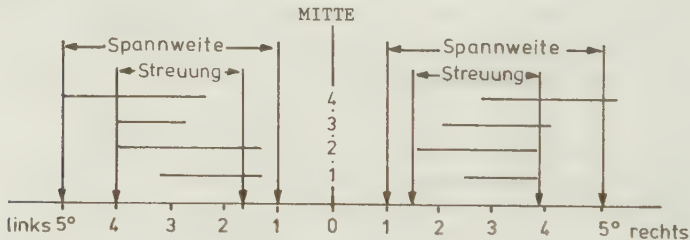


Abb. 8: Verschiedene Geschwindigkeiten bei Versuchsperson 1.

Die Streuungen der verschiedenen Versuchsserien sind als waagerechte Linien eingetragen (nach beiden Seiten des mittleren Stoppwinkels); Einheit: Winkelgrad.

- 1: Versuch, bei dem nach Ende des Summtones drei Sekunden bis zum Start des Wagens, der dann mit Normalgeschwindigkeit fährt, gewartet wird.
- 2: Versuch mit geringer Geschwindigkeit (6 Grad/ Minute)
- 3: Versuch mit Normalgeschwindigkeit (12 Grad/ Minute)
- 4: Versuch mit hoher Geschwindigkeit (25 Grad/ Minute)

Zum Vergleich ist die Standardabweichung, wie sie für diese Versuchsperson in 24 Versuchen nach jeder Seite (Anordnung C; Normalgeschwindigkeit; cf. Abschnitt 3.2) ermittelt wurde, eingetragen. Ebenso ist die Spannweite, der Abstand zwischen dem größten und kleinsten Stoppwinkel bei den 24 Versuchen, gegeben.

Man sieht, daß die Standardabweichungen der Stoppwinkel mit verschiedenen Geschwindigkeiten (bzw. Pause) im allgemeinen innerhalb des Streubereichs der 24 Versuche und mit Ausnahme des Versuchs "mit hoher Geschwindigkeit nach rechts" alle innerhalb der Spannweite liegen; auch dieses Ergebnis spricht gegen eine besondere Zeitabhängigkeit unserer Methode der Richtungshörschwellen- Bestimmung.

3.4 VERSUCH MIT SEITLICHEM START - PUNKT DES LAUTSPRECHERS

Bei den Versuchspersonen 1, 5, 9, 10 und 15 wurde, nachdem sie am Hauptversuch (cf. 3.1) teilgenommen hatten, der Start des Wagens zwei Grad seitlich der eigentlichen Mitte vorgenommen. Ansonsten wurde vorgegangen, wie in Fall C ("Fadenkreuz", Mitte - Seite) beschrieben. Der Wagen bewegte sich wieder nach links oder rechts, die Versuchsperson sollte stoppen, sobald sie den Eindruck hatte, der Ton käme nicht mehr aus dem Mund bzw. der optischen Mitte. Bei Versuchsperson 1 und 15 wurde der Wagen einmal zwei Grad rechts von der Mitte mit je sechs Fahrten nach links und sechs Fahrten nach rechts, dann zwei Grad links von der Mitte gestartet (wieder zwölf Fahrten). Bei Versuchsperson 5 wurde nur rechts gestartet, der Wagen fuhr zwölfmal nach links und zwölfmal nach rechts. Obwohl sie im Hauptversuch kaum "Links- rechts- Seitendifferenzen" gezeigt hatten, addierten wir bei Versuchsperson 1 und 15 die Ergebnisse der "linken" und "rechten" Versuchsreihe: im folgenden sprechen wir daher nur noch von "Fahrt ins Bild" (d.h. bei Start zwei Grad links von der Mitte Fahrt nach rechts) und "Fahrt aus dem Bild".

Die Ergebnisse zeigt Tabelle 6; wir geben jeweils die absolute Fahrweite des Lautsprechers in Winkelgrad an.

Tabelle 6: Seitlicher Startpunkt; Mittelwert und Streuung (in Klammern) der absoluten Fahrweite des Lautsprechers bis zum Stopp durch die Versuchsperson.

	<u>Fahrt ins Bild</u>	<u>Fahrt aus dem Bild</u>	<u>Differenz</u>
VP 1	3.0 (1.1)	2.1 (0.4)	0.9
VP 15	2.9 (1.2)	1.5 (0.6)	1.4
VP 5	3.9 (0.6)	2.7 (0.8)	1.2
Start nur rechts, je 12 Versuche			
VP 9	1.4 (0.3)	1.4 (0.3)	---
Start nur links, je 6 Versuche			
VP 10	5.8 (0.6)	2.3 (1.0)	3.5
Start nur rechts, je 6 Versuche			
MITTELWERT	3.4	2.0	

Im Durchschnitt brauchte die Versuchsperson etwa sieben Sekunden länger (das entspricht 1.4 Grad) für die Entscheidung bei der "Fahrt ins Bild" ("Fahrt ins Bild" ca. 17 Sekunden, "Fahrt aus dem Bild" ca. 10 Sekunden). Wir sehen dies als Hinweis, daß die Versuchsperson nicht durch Zeitabschätzen den Stoppwinkel bestimmte.

Zur Erläuterung des folgenden dient Abbildung 9:

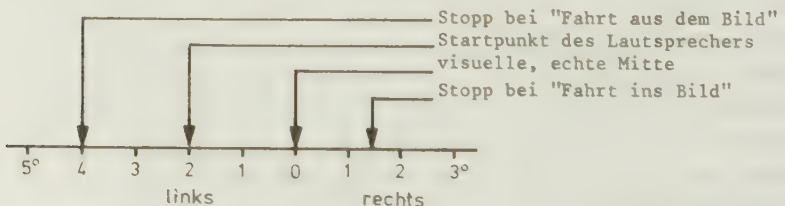


Abb. 9: Erklärung siehe Text.

Wenn man vom eigentlichen (seitlichen) Startpunkt des Lautsprechers ausgeht, wird der Wagen bei der "Fahrt ins Bild" später gestoppt als bei der "Fahrt aus dem Bild". Betrachtet man die Situation aber vom visuellen Startpunkt, der Mitte des Sprecher-mundes (und dies war die Position, von der die Versuchspersonen (Ausnahme VP 9) den Start vermuteten), so war der Wagen zum Stoppzeitpunkt etwa vier Grad von dieser optischen Mitte entfernt, wenn er "aus dem Bild" fuhr und nur etwa 1.5 Grad, wenn er "ins Bild" fuhr.

Daraus sieht man,

- daß auch das Bild nicht den Unterschied verkleinern kann, der (bei dynamischer Lokalisation, also sich langsam bewegenden Schallereignis) zwischen zwei Lautsprecherstellungen bestehen muß, um ihn akustisch erkennen zu können (dieser Unterschied ist etwa zwei Grad, wie bei "Fahrt aus dem Bild" ersichtlich);
- daß das Bild die frühestmögliche Seitlichkeitsentscheidung bei der "Fahrt ins Bild" verhindert und bewirkt, daß fast alle Versuchspersonen (Ausnahme VP 9) ihre Seitlichkeitsentscheidung nach dem visuellen Seitenwechsel machten.

Wir glauben jedoch nicht, daß der Schluß erlaubt ist, daß das Bild über den Ton dominiere und deshalb erst bei vier Grad seitlich der "echten" Mitte bei der "Fahrt aus dem Bild" gestoppt werde; denn dieses Argument wird entkräftet dadurch, daß bei der "Fahrt ins Bild", bezogen auf die visuelle (echte) Mitte sehr früh gestoppt wird.

3.5 VERSUCH MIT STATIONÄREM LAUT - S P R E C H E R

Im letzten Versuch wurde der Lautsprecherwagen unbemerkt von der Versuchsperson drei Grad nach links oder rechts bewegt oder auch in der Mitte gelassen. Die Reihenfolge der Positionen bestimmten wir wieder mit dem Zufallsgenerator. Die Versuchsperson sollte entscheiden, wo sich der Wagen befindet.

Wir führten den Versuch solange durch, bis für jede der drei Stationen des Lautsprechers zehn Antworten vorlagen.

Die Versuchsperson 1 erzielte sowohl "ohne Bild" als auch mit "Fadenkreuz" je sieben- oder achtmal die richtige Antwort für jede Seite. Wenn falsche Positionsangaben gemacht wurden, verwechselte die Versuchsperson die Mitte mit links oder rechts. Die falsche Seite (links statt rechts) wurde nie genannt. Ebenso wurde die Position Mitte viermal ("ohne Bild") bzw. dreimal ("Fadenkreuz") für seitlich erklärt.

Bei allen Versuchen kamen falsche Seitenangaben sehr selten vor, bedingt durch die Aufforderung, erst bei eindeutiger Rechts- oder Linkswahrnehmung den Lautsprecherwagen zu stoppen.

4.0 DISKUSSION

Versuche bei denen die Eindrücke, die Auge und Ohr vermitteln, in Gegensatz zueinander standen, machten in neuerer Zeit RADEAU 1973, WEERTS und THURLOW 1971, JACKSON 1953, BLAUERT 1970 und WITKIN et al. 1952. Die beiden letztgenannten Autoren verwendeten wie wir einen menschlichen Kopf und Sprache als optischen bzw. akustischen Reiz. Wie wir ließen sie das Bild stationär in der Mitte; bei BLAUERT war es ein Fernsehbild, bei WITKIN et al. der Kopf des Experimentators selbst. Die Änderung des Schallereignisortes erreichte BLAUERT durch eine Reihe nebeneinander aufgestellter Lautsprecher, die zufällig angespielt wurden, während WITKIN et al. den Ton durch zwei kontinuierlich in der Länge veränderbare Schläuche zur Versuchsperson schickten und über die Zeitverschiebung einen Richtungseindruck erzielten.

BLAUERT benutzte Logatome, WITKIN et al. lasen Fabeln von Äsop vor. Wir benutzten den "Freiburger Sprachverständnistest", denn nach HAMLIN und LINDAUER 1974 sollen neutrale Wörter bei 45 Grad Seitlichkeit besser lokalisiert werden als Wörter mit besonderer Bedeutung für die Versuchsperson; bei null Grad stellten sie allerdings keinen Unterschied fest.

Wir glauben, daß bei spannenderem Text und Bild, z.B. im Kino, die Verschmelzung des optischen und akustischen Reizes leichter fällt, als bei unserer langweiligen Versuchssituation.

WITKIN et al. kamen zu dem Ergebnis, daß Männer, wenn sie den Kopf des Sprechers sehen und der Ton kontinuierlich zu einer Seite verschoben wird, erst bei 28 Grad die Seitlichkeit bemerken, während sie ohne Bild bei 17 Grad die Seitlichkeit wahrnehmen. Die entsprechenden Werte für Frauen sind 38 Grad mit Bild, 18 Grad ohne Bild. WITKIN et al. schließen, daß Frauen sich stärker vom visuellen Reiz beeinflussen lassen. Zumindest unsere weibliche Versuchsperson 20 folgte dieser "Regel" nicht.

Die ungewöhnliche Größe ihrer Winkel erklären WITKIN et al. mit ihrer speziellen Methode.

Auch unsere Werte für die Versuchsanordnung A ("ohne Bild") liegen an der oberen Grenze der in der Literatur angegebenen Werte. Wir führen dies darauf zurück, daß wir keine "minimum audible angles", wie sie für die Psychoakustik definiert sind (cf. 29), angeben, sondern arithmetische Mittelwerte.

JACKSON fand, daß seine Versuchspersonen der Diskrepanz zwischen Bild und Ton - er verwendete Dampfkessel mit verschiebbarem Pfeifton - erst bei Winkeln über dreißig Grad gewahr wurden; vorher wurde fast nur nach dem Gesichtssinn geurteilt, aber selbst bei neunzig Grad Verschiebung soll noch ein Drittel der Versuchspersonen "optisch" die Position bestimmt haben. Allerdings hat auch JACKSON Grenzwinkel für die rein akustische Lokalisation von etwa 20 Grad.

Jede unserer Versuchspersonen erkannte bei seitlicher Startposition (15 Grad seitlich der Medianebene der Versuchsperson) den unterschiedlichen Standort von Bild und Ton.

Jedenfalls ist nach WITKIN et al. und JACKSON die Empfindung der Richtung des gehörten Schallereignisses stark von gleichzeitigen visuellen Reizen des schallproduzierenden Körpers abhängig. BLAUERT hingegen findet keinen Unterschied zwischen der Situation mit und ohne Bild. RADEAU, die mit einem Lichtreiz und Geräusch arbeitete, berichtet, daß bei divergierenden Seh- und Hörereignissen beide zu einem mittleren Hör- und Sehereignis integriert werden, wobei der Gesichtssinn leicht dominiert. Bei WEERTS und THURLOW schließlich, in deren Experiment die Versuchsperson auf einen sichtbaren Lautsprecher blickt, indem sie die Augen zwanzig Grad seitlich richtet, verschiebt die Versuchsperson einen Klick, der aus einem unsichtbaren Lautsprecher in der Medianebene (bezogen auf den Körper der Versuchsperson) kommt, maximal neun Grad in Richtung des sichtbaren Lautsprechers. Neun Grad Verschiebung werden aber nur erreicht,

wenn die Augen entsprechend ausgerichtet sind und die Versuchsperson zusätzlich den Ton aus dem sichtbaren Lautsprecher erwartet. "Seitlich- Blicken" allein bringt einen geringeren Effekt, Erwartung allein bewirkt keine signifikante Verschiebung.

Wir erreichten in der Situation "Bild und Erwartung" (die Versuchsperson blickt auf den Sprecher und erwartet, daß der Ton von ihm her kommt) eine Seitenverschiebung des Tones, bis zu der eine Verschmelzung möglich war, von sieben Grad (Mittelwert). Dieser Wert ist etwa doppelt so groß wie der, der sich in der Situation "Fadenkreuz" ergibt; er steht in gutem Einklang mit den Ergebnissen WEERTS's und THURLOW's und dürfte eher als Näherung an einen Absolutwert angesehen werden können, als die Ergebnisse WITKIN's et al. und JACKSON's.

Wenn man aus drei Meter Entfernung ein Fernsehbild betrachtet und zwischen Bildmitte und Lautsprecher ein Abstand von 35 cm besteht, so sieht man beide unter einem Winkel von etwa sieben Grad.

Wir sehen die Ursache für die Verschmelzung in der "Erwartung" der Versuchsperson. Wir wollen dies erklären: ein naiver Betrachter unserer Versuchssituation "mit Bild" wäre nicht auf die Idee gekommen, Ton und Bild zu trennen (wie es bei "Fadenkreuz" gefordert wurde). Um unsere Versuchspersonen in eine der natürlichen Situationen vergleichbare Ausgangslage zu bringen, mußten wir sie auffordern zu erwarten, daß Bild und Ton zusammenfallen; "Erwartung" beinhaltet also diese Aufforderung zum "natürlichen" Sehen und Hören. Dies deckt einen schwachen Punkt der Versuchsanordnung auf: wir konnten nicht beurteilen, wie gut die Versuchsperson fähig war, den Ton mit dem Bild zu verschmelzen, nachdem ihr diese normalerweise nicht bemerkte Fähigkeit durch die Versuchsanleitung bewußt gemacht worden war; einigen, wie z.B. Versuchsperson 4 gelang es anscheinend nicht. Daß es individuelle Unterschiede gibt darin, auf welchem Sinneskanal die Betonung liegt, steht außer Zweifel (18).

Über die wesentlich größere Varianz und Spannweite bei Anordnung E im Vergleich zu Anordnung A (Spannweite der Mittelwerte(!) bei $E = 7.5$ Grad, gegenüber zwei Grad bei A) berichten auch WITKIN et al..

Da bei der Situation mit Bild zwei Reize zur Auswahl stehen, die miteinander kombiniert werden müssen, ist dies nicht erstaunlich, zeigt aber, daß die Fähigkeit zur Verschmelzung stark persönlichkeitsabhängig (auch vom Sicherheitsbedarf für die Stoppentscheidung) ist; es gibt Personen, die der Suggestion des Gesichtssinnes erliegen und andere, die die Trennung von Bild und Ton aufrechterhalten; die Angabe eines Mittelwertes ist daher fragwürdig.

Manche Versuchspersonen bemerkten bei Lautsprecherbewegung Mitte - Seite die Seitlichkeit später in der Anordnung "Fadenkreuz" als in der Anordnung "ohne Bild". WITKIN et al. schreiben, daß Versuchspersonen, die angaben, etwas länger mit der Seitenentscheidung zu warten, beim Versuch mit Bild höhere Werte als der Rest der Gruppe erreichten, nicht aber bei der "Augen- zu"-Situation, also ohne Bild.

Natürlich ist auch die Ortungsfähigkeit an sich individuell verschieden (38). Auch ist bekannt, daß die Fähigkeit, akustische Signale wahrzunehmen, mit steigender Versuchsdauer nachläßt (32).

Der Vergleich "Fadenkreuz" zu "ohne Bild" weist keinen erkennbaren Unterschied der Mittelwerte auf und deckt sich insoweit mit den Ergebnissen von BLAUERT. Hierin sehen wir eine Bestätigung unserer Ansicht, daß die "Erwartung", daß Bild und Ton aus einer gemeinsamen "Bildschallquelle" kommen, der wesentliche Grund für eine Verschmelzung ist und nicht das Bild an sich. Wir kennen die Versuchsanleitung BLAUERT's nicht genau, aber auch er wies seine Versuchspersonen an, sich auf das Bild zu konzentrieren.

Daß sämtliche Werte (Mittelwerte) und in Anordnung "ohne Bild" die Varianz für die Versuche, bei denen sich der Lautsprecher von der Seite zur Mitte bewegte, größer sind als bei der Mitte - Seite-Bewegung, mag daran liegen, daß es schwieriger ist, die Mitte genau zu erkennen als die Seite. (Auch hier bestehen wieder große interindividuelle Unterschiede.) Vielleicht liegt es auch daran, daß es leichter fällt, die Verschmelzung durchzuführen (dafür spricht besonders der signifikant größere Wert, der in Anordnung D gegen-

über Versuchsanordnung C erzielt wurde), als sie aufzutrennen, was ja beim Versuch Mitte - Seite gefordert wird. WITKIN et al. berichten über diesen Wunsch zur Verschmelzung bei einigen Versuchspersonen: wenn manche ihrer Versuchspersonen im Moment des Seitlichkeitseindrucks die Augen öffneten, verschwand der Seitlichkeitseindruck; es erfolgte Rückprojektion des Tones ins Bild.

Nach WALLACH und FREY 1972 wird bei Diskrepanz zweier Reize an verschiedenen Sinnesorganen, zweier Reize, die üblicherweise denselben Raumeindruck vermitteln sollten, ein Ausgleich gesucht. Es besteht die Tendenz zur räumlichen Verschmelzung. Dasselbe drückte KLEMM (zitiert nach 4, 10) in einer "Regel der räumlichen Komplikationen" aus.

Bestehen Unterschiede zwischen den Raumempfindungen, die Auge, proprioceptiver Apparat und Ohr vermitteln, so bestimmt meist das Auge den entgültigen Richtungseindruck (z.B. LACKNER, PICK et al. 1967). Als wesentlich für die Verschmelzung (Situation "Bild und Erwartung") werden in der Literatur (WILLEY et al. 1937, YOUNG 1928) angeführt:

- die Stärke des Zusammenhangs von Bild und Ton; die Versuchsperson muß Bild und Ton leicht assoziieren können (z.B. Kopf und Sprache); am ehesten gelingt das, wenn beide in einem kausalen Verhältnis zueinander stehen (z.B. erreichte JACKSON mit seinen pfeifenden Dampfkesseln eher Verschmelzung, als wenn er Türklingeln und Lämpchen als akustischen bzw. optischen Reiz vorgab).
- die Gewohntheit der Versuchsperson an die Zusammengehörigkeit von Bild und Ton; (bei plötzlichen, unerwarteten Veränderungen des Schallereignisses soll bei audio- visuellem Konflikt die Richtung des Tones wieder rein akustisch bestimmt werden (47).)

Die Verschmelzung wird meist verhindert bei bewußter Lokalisation mit dem Ohr, bei der die Aufmerksamkeit auf dem akustischen Sinneskanal liegt und Bild und Ton abstrahiert werden (Situation "Fadenkreuz"; auch hier forderten wir allerdings die Versuchspersonen auf, sich auf das Bild zu konzentrieren).

Um ein Nichtübereinstimmen der Eindrücke zweier Sinneskanäle zu verhindern, ist der Organismus in der Lage, die Information eines Sinnesorgans zu unterdrücken; man findet dafür auch die Bezeichnung "Bauchrednereffekt". Die Sinnesmodalität, die im Sukzessivkontrast die genauere Raumorientierung ermöglicht, soll übrigbleiben. Diese Hypothese wurde von FISHER 1960 (zitiert nach HOWARD und TEMPLETON) bestätigt, als er feststellte, daß sich die Sinnesmodalitäten in einem Dominanzschema mit der Reihenfolge Auge - Kinästhetik - Gehör anordnen ließen. Das Auge dominiert nach FISHER völlig über das Gehör, teilweise über die Kinästhetik und diese wiederum über das Gehör (cf. LACKNER 1974⁺).

EWERT 1930 (zitiert nach YOUNG 1931) bestätigt diese absolute Dominanz des Auges nicht. Wir wiesen auf die vielen psychologischen Momente hin, denen nicht alle Beobachter gleiche Beachtung schenkten, so daß dies eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse beim audio- visuellen Konflikt sein könnte. RADEAU hält in diesem Zusammenhang auch die Menge an Rauminformation, die ein Sinnesorgan anzubieten hat, für wesentlich.

Wie wir bei der Beschreibung der Berechnung der Mittelwerte für die statistische Auswertung darlegten, waren die Ergebnisse mehrerer Versuchspersonen nicht seitengleich, wenn der Wagen nach links oder rechts fuhr. Dies trat in allen Versuchsreihen ("ohne Bild", "Fadenkreuz", "Bild und Erwartung") auf, bei mancher Versuchsperson immer in der gleichen Richtung (d.h., daß z.B. rechts im Mittel aller Versuche eher gestoppt wurde als links).

Wenn wir die Versuchspersonen fragten, welche Seite ihnen leichter gefallen sei, antworteten sie meistens mit der Angabe der Seite, bei der sie die geringeren Werte hatten. Vor allem in Versuchsanordnung E und F wurde anscheinend allgemein auf der linken Seite etwas leichter lokalisiert.

Auch JACKSON fand auf der linken Seite die genauere Lokalisation; er suchte die Ursache in Unsymmetrien des Untersuchungsraumes. Diese waren auch bei uns vorhanden.

AKISHIGE 1951, BRUELL und ALBEE 1955, WERNER, WAGNER und BRUELL 1953 (alle zitiert nach HOWARD und TEMPLETON) haben festgestellt, daß gleichgerichtete konstante Irrtümer beim Abschätzen (mit dem Auge) der Medianebene ("straight ahead") bei symmetrischem Versuchsaufbau auftreten; alle Erwachsenen neigen dazu, das "Geradeaus" rechts seiner wahren Position anzunehmen.

Die Medianebene wird nicht richtig eingeschätzt, wenn man ein "Visierauge" benutzt und wenn das Gesichtsfeld eines Auges größer als das des anderen ist. Auch schreiben HALL und HARTWELL 1884, "daß bei binokularem Sehen eine Linie im rechten Winkel zur Medianebene auf der linken Seite etwas länger erscheint als auf der rechten, wenn der Betrachter Rechtshänder ist (zitiert nach 14). WITKIN et al. geben an, daß zehn Prozent ihrer audiologisch untersuchten Versuchspersonen mit der objektiven Mittenzentrierung nicht einverstanden gewesen seien. Sie konnten aber keinen Unterschied im Lauf nach links oder rechts entdecken (sowohl mit offenen als auch mit geschlossenen Augen).

Wir führen die auftretenden Unsymmetrien auf eine leichte Drehung des Kopfes zurück. LACKNER 1974⁺ beschreibt eine genaue Beziehung zwischen perzipierter Kopfposition und akustischer Richtungslokalisation. Wenn eine Differenz zwischen echter und perzipierter Kopfposition auftrete, sei die Hörrichtung um dieselbe Größe verschoben. Veränderungen der Kopfposition werden als kleiner empfunden als sie sind. Hier dominiert der Gesichtssinn über den somatosensorischen. Da die Versuchspersonen sich bei allen Versuchen an einem optischen Mittelpunkt ausrichteten, dürfte sich die systematische Bevorzugung einer Seite bei einzelnen Versuchspersonen dadurch erklären, daß die Versuchspersonen nicht ophthalmologisch untersucht wurden. Nach dem Versuch wurde bei Versuchsperson 14, die ein normales Audiogramm vorweisen konnte, eine rechtsseitige Myopie festgestellt. Alle Winkelwerte auf der rechten Seite waren bei dieser Versuchsperson deutlich größer als die der linken Seite. Wir nehmen an, daß die Versuchsperson das bessere linke Auge in die Sehachse brachte und dabei den Kopf etwas nach rechts bewegte. Gegen die von uns durchgeführte Berechnung des Mittelwertes dürfte jedenfalls nichts einzuwenden sein.

5.0 ZUSAMMENFASSUNG

An 21 Versuchspersonen wurde unter den Versuchsbedingungen "ohne Bild", "mit Bild" und "mit Bild und Erwartung, daß Bild und Ton zusammenfallen", untersucht, bis zu welchem Winkel sich der Ton seitlich verschieben läßt, ohne daß die Versuchsperson die räumliche Trennung von Bild und Ton bemerkt (bzw. bis sie beim ersten Fall "Seitlichkeit" wahrnimmt).

Dabei war der Winkel der dritten Versuchsanordnung signifikant (0.1%- Niveau) verschieden von den beiden anderen Situationen. Das Ergebnis wurde durch einen Versuch, bei dem der Ton von der Seite zur Mitte wanderte, gestützt.

6.0 L I T E R A T U R

- 1 ASCHOFF V.
Über das räumliche Hören.
Arbeitsgemeinschaft für Forschung Nordrhein-Westfalen
H.138, 7-37
Westdeutscher Verlag Köln (1963)
- 2 ASCHOFF V.
Über das räumliche Hören
Biologische Periodik als selbsterregte Schwingung
Köln 1964
- 3 BLAUERT J.
Untersuchungen zum Richtungshören in der Medianebene
bei fixiertem Kopf
Diss. Tech. Hochschule Aachen 1969
- 4 BLAUERT J.
Ein Versuch zum Richtungshören bei gleichzeitiger optischer
Stimulation
Akustika, Vol. 23, 118-119 (1970)
- 5 BLAUERT J.
Räumliches Hören
Monographien der Rundfunktechnik
Stuttgart 1974
- 6 COHEN M.M.
Changes in Auditory Localization Following Prismatic Exposure
Under Continuous and Terminal Visual Feedback
Percept. Mot. Skills 38(3): 1202
Jun. 74
- 7 DAMASKE P.
Die psychologische Auswertung akustischer Phänomene
7th Int. Congr. on Acoustics 21G2
Budapest 1971
- 8 DUDECK J. und HAHN H.
Über die Tradingfunktion beim binauralen Hören verschiedener
Schallarten
Pflügers Archiv 279, 133-148 (1964)

- 9 GARDNER M.B.
Image Fusion, Broadening and Displacement in Sound Localization
J. acoust. Soc.Amer. 46,339-349 (1969)
- 10 GOLDSTEIN K. und ROSENTHAL-VEIT O.
Über akustische Lokalisation und deren Beeinflußbarkeit
durch andere Sinnesreize
Psych. Forschung 8, 318-335
1926
- 11 HAAS HELMUT
Über den Einfluß eines Einfachechos auf die Hörsamkeit
von Sprache
Akustika, Vol. 1, 49-58, 1951
- 12 HARRIS J.D. und SERGEANT R.L.
Monaural-Binaural Minimum Audible Angles for a Moving
Sound Source
Journal of Speech and Hearing Research, Vol.14, 618-29
Washington Sep. 1971
- 13 HAMLIN R. und LINDAUER M.S.
Auditory Localization of Value Related Material
Percept. Mot. Skills 38 : 839-44
Jun 74
- 14 HOWARD IAN P., TEMPLETON W.B.
Human Spatial Orientation , Kap. 16, 11, 14
Wiley, New York 1966
- 15 JACKSON C.V.
Visual Factors in Auditory Localization
Q J Exp. Psychol. 5: 52-65 1953
- 16 KEIDEL W.D.
Das räumliche Hören
in: Handbuch der Psychologie Band I,1
hrsg. von K.Gottschaldt, F.Sander, Ph.Lersch, H.Thomae
Hogrefe, Göttingen 1966
- 17 KEIDEL W.D.
Richtungshören
in: Physiologie des Gehörs
Akustische Informationsverarbeitung
Einführung für Ärzte, Biologen, Psychologen und Nachrichten-
techniker.
Herausgeber W.D. Keidel
Stuttgart 1975

- 18 KIEFER T.
Der visuelle Mensch
München, Basel 1956
- 19 KIETZ H.
Das räumliche Hören
Akustika 3, 73 - 86
1953
- 20 KIETZ H.
Der echte und ein falscher Haas-Effekt
3rd Int. Congr. on Acoustics, Stuttgart
Vol I, 147-149
1959
- 21 KLENSCH, HERBERT
Die Lokalisation des Schalles im Raum
Die Naturwissenschaften, 36, 145-149 (1949)
- 22 KRAVKOV S.V.
Interaction of Sense Organs in A.Leontyev et al.(eds).
Psychological Research in the USSR, Vol.1
Moscow 1966
- 23 LACKNER JR.
Visual Rearrangement Affects Auditory Localization
Neuropsychologia 11: 29-32
Jan. 1973
- 24 LACKNER JR.
Influence of Visual Rearrangement and Visual Motion on
Sound Localization
Neuropsychologia 12: 291-3
März 74
- 25 LACKNER JR.
The Role of Posture in Sound Localization
Q J Exp Psychol 26: 235-51
May 1974 *
- 26 LAMBERT RM
Dynamic Theorie of Sound - Source Localization
J Acoust Soc Am 56 : 165-71
Washington Jul 74

- 27 LEHNHARDT E.
Über das Richtungshören des Menschen
Elektroakustische Versuche mit kleinsten Zeitdifferenzen
HNO, Vol. 8, 353-357
1960
- 28 MOUSHEGIAN G. u. RUPERT L.A.
Relations Between the Psychophysics and the Neurophysiology
of Sound Localization
Fed Proc 33: 1924-7
Aug 1974
- 29 MILLS A.W.
Auditory Localization in
Foundation of Modern Auditory Theory
edited by Jerry V. Tobias
New York 1972
- 30 NORDLUND B. und G. LIDÉN
An Artificial Head
Acta oto-laryng 56, 1:493-99 1963
- 31 NORDLUND B. und FRITZELL BJÖRN
The Influence of Azimuth on Speech Signals
Acta oto-laryng. 56, : 633-642
Göteborg 1963
- 32 PEARLMAN RC, CUNNINGHAM DR, WILLIAMSON DG u. AMERMANN JD
The Use of Visual Stimuli During Auditory Assessment
Journal of the American Audiological Society 1(2) 64-70
Sep/ Okt 75/76 Baltimore
- 33 PICK H., WARREN D. und HAY J.
Sensory Conflict in Judgements of Spatial Direction
Perception and Psychophysics 6, 203-05
1969
- 34 PLENCE G.
On the Differences Between Localization and Lateralization
J Acoust Soc Am 56 (3): 944-51
Sep. 1974

- 35 PREIBISCH-EFFENBERGER R.
Zur Methodik der Richtungsaudiometrie: Prüfung der Schall-
lokalisationsfähigkeit durch elektroakustische Verzögerungs-
kette oder Messungen im freien Schallfeld.
Archiv klin. exp.Ohr -,Nas.-u. Kehl.-Heilk., Bd.187
S. 588 - 592 1966
- 36 RADEAU M.
The Locus of Adaption to Auditory - Visual Conflict
Perception 2: 327-32
London 1973
- 37 RANKE F. und LULLIES H.
Gehör - Stimme - Sprache
Berlin 1953
- 38 RUSSELL G.
Individual Differences in Pure Tone Localization
J Acoust Soc. America 60 (1) : 270-2
Lancaster, Pa Jul 76
- 39 RYAN TA.und SCHEHR F.
Influence of Eye Movement and Position on Auditory Localization
Amer. J. Psych. 54: 243 - 252
- 40 STARR A.
Neurophysiological Mechanisms of Sound Localization
Fed. Proc. 33: 1911-4
Aug. 1974
- 41 SONE T., EBATA M., NIMURA T.
On the Difference Between Localization and Lateralization
6th Int. Congr. on Acoustics A-3-6
Tokyo 1968
- 42 TONNING EM.
Auditory Localization and Its Clinical Applications
Audiology 14 (4) : 368-80
- 43 WALLACH H., FREY KJ.
On Counteradaption
Perception and Psychophysics 11: 161-65
Austin, Tex. 1972

- 44 WEERTS TC. and THURLOW WR.
The Effects of EYE Position and Expectation on Sound
Localization
Perception and Psychophysics 9, 35 - 39
Goleta, Calif., 1971
- 45 WILLEY C.F., INGLIS E. und PEARCE C.H.
Reversal of Auditory Localization
J Exp. Psych. Vol. 20: 114-130
1937
- 46 WITKIN HA, WAPNER S, LEVENTHAL T
Sound Localization with Conflicting Visual and Auditory Cues
J Exp. Psychol. 43: 58-67
1952
- 47 Young P.T.
Auditory Localization With Acoustical Transposition of the Ears
J Exp. Psychol. 6: 399-429
1928
- 48 Young P.T.
The Role of Head Movements in Auditory Localization
J Exp. Psychol. 14 : 95-124
1931
- 49 ZAKRZEWSKI A.
Zur Frage der binauralen Lokalisation von Tönen
Prac. oto-rhino-laryng. 1, 5 : 5-18
Basel 1938
- 50 SACHS L.
Angewandte Statistik
4. Auflage
Berlin, Heidelberg, New-York 1974

Mein Dank gebührt Herrn Prof. Dr. med. Wolf D. KEIDEL für die Überlassung des Themas.

Herrn Privatdozent Dr. med. E. DAVID und Herrn Privatdozent Dr. med. S. KALLERT danke ich für Ratschläge und großzügige Hilfe bei allen Fragen, die sich im Laufe der Versuche ergaben.

Herrn G. WITZEL, Herrn R. BACHMANN, Herrn K. SCHÜTTE, Herrn A. GABRIEL und Herrn K. BURIAN danke ich für die Fertigung der Apparatur, viele technische Hilfeleistungen sowie die Herstellung der Fotos.

Herrn Dr. rer. nat. W. GUNSELMANN (Institut für medizinische Statistik und Dokumentation) gilt mein Dank für Unterstützung und Beratung bei der statistischen Auswertung.

Ferner habe ich der Firma GRUNDIG für die Leihgabe des Video-recorders, Herrn Dr. RIX (Augenklinik) für die Prismenbrille und Herrn Dr. BERG (HNO-Klinik) für den "Freiburger Sprach-verständnistest" zu danken.

Besonderer Dank gilt meinen Versuchspersonen.

LEBENS LAUF

Als erstes Kind von Dr. med. Joseph und Elisabeth Wiedemann wurde ich am 23. Oktober 1953 in Erlangen geboren.

In Erlangen und Ingolstadt besuchte ich von 1960 -1964 die Volksschule, anschließend das humanistische Reuchlin-Gymnasium in Ingolstadt bis zum Abitur 1973.

Das Studium der Medizin begann ich im WS 1973/74 an der Ruhr-Universität Bochum. Nach zwei Semestern wechselte ich an die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Hier bestand ich 1975 die Ärztliche Vorprüfung. Während der klinischen Semester studierte ich in Erlangen und an der Stanford University in Kalifornien; das Praktische Jahr leistete ich an der Universität von Rennes in Frankreich ab. Im Oktober 1979 bestand ich in Erlangen den dritten Teil der Ärztlichen Prüfung.

